

明 細 書

燃料電池及びこれを備える燃料電池スタック

技術分野

- [0001] 本発明は、燃料電池(特に高分子電解質形燃料電池)及びこれを備える燃料電池スタックに関する。

背景技術

- [0002] 高分子電解質形燃料電池は、水素等の燃料ガスと空気等の酸化剤ガスとをガス拡散電極であるアノード及びカソードにおいてそれぞれ電気化学的に反応させ、電気と熱とを同時に発生させる電池である。図22に、このような高分子電解質燃料電池の一般的な基本構成を示す。燃料電池100は、図22に示すように、主として膜電極接合体(MEA)105と、膜電極接合体105を挟持する一対の板状のセパレータ、即ちアノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bを含む構成の単電池(セル)を少なくとも1つ具備する。
- [0003] 膜電極接合体105は、アノード104a及びカソード104bの間に陽イオン(水素イオン)を選択的に輸送する高分子電解質膜101が配置された構成を有している。更に、アノード104aは、高分子電解質膜101側に密着した状態で配置される触媒層102aと、当該触媒層102aとアノード側セパレータ106aとの間に配置されるガス拡散層103aとを少なくとも含み、カソード104bは、高分子電解質膜101側に密着した状態で配置される触媒層102bと、当該触媒層102bとカソード側セパレータ106bとの間に配置されるガス拡散層103bとを少なくとも含む。
- [0004] 触媒層102a、102bは、電極触媒(例えば白金系金属)を担持した導電性炭素粉末を主成分とする層である。また、ガス拡散層103a、103bは、ガス通気性と導電性を兼ね備えた層である。このガス拡散層103a、103bは、例えばカーボンからなる導電性多孔質基材の上に導電性炭素粉末とフッ素樹脂とからなる導電性撥水層を形成して得られる。
- [0005] ここで、図22に示すように、MEA104においては、ガス漏れを防止するためガスケット109a、109bを配置する観点から、高分子電解質膜101の主面の大きさが、アノ

ード104a及びカソード104bの主面の大きさよりも大きく、かつ、高分子電解質膜101の全外縁部がアノード104a及びカソード104bの外縁部よりも外側に突出するような構成を有している。なお、本明細書においては、これらのアノード104a及びカソード104bの外縁部よりも外側に突出した高分子電解質膜101の外縁部を「はみ出し部」ともいう(図22中のP)。

- [0006] アノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bは、導電性を有しており、MEA104を機械的に固定するとともに、MEA104を複数積層する場合に隣接するMEA104同士を互いに電氣的に直列に接続するものである。また、アノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bには、アノード104a及びカソード104bに反応ガスを供給し、電極反応により生成した生成物や未反応の反応物を含むガスをMEA104の外部に運び去るためのガス流路107a、107bが一方の面(即ち、アノード側セパレータ106aのアノード104aに接する側の主面、及び、カソード側セパレータ106bのカソード104bに接する側の主面)に形成されている。
- [0007] 更に、アノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bの他方の面には、電池温度をほぼ一定に調節するための冷却流体(冷却水等)を導入するための冷却流体流路108a、108bが形成されている。冷却流体を燃料電池と外部に配置した熱交換器との間で循環させる構成とすることにより、反応により発生した熱エネルギーを、温水等の形で利用することができる。
- [0008] ガス流路107a、107bは、製造工程を簡素化できる等の利点から、アノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bの、それぞれアノード104a及びカソード104bに接する側の主面に、溝を設けて形成する方式が一般的である。また、冷却流体流路108a、108bは、アノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bの外側の主面に溝を設けて形成する方式が一般的である。
- [0009] また、複数のMEA105間にアノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bを介在させ、複数のMEA105を電氣的に直列に積層して得られる、いわゆる積層型の燃料電池(燃料電池スタック)においては、燃料電池に供給される反応ガスを分岐させて各MEA105に供給するためのマニホールド(アノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bに設けられた反応ガス供給用マニホールド孔及

び反応ガス排出用マニホールド孔が連続的に積層された状態で組み合わされて形成されるマニホールド(図示せず))が設けられる。

- [0010] また、燃料電池に供給される冷却流体を分岐させて各MEA105に供給するためのマニホールド(アノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bに設けられた冷却流体供給用マニホールド孔及び冷却流体排出用マニホールド孔が連続的に積層された状態で組み合わされて形成されるマニホールド(図示せず))が設けられる。上記のように燃料電池の内部に形成されるマニホールドを内部マニホールドといい、このような「内部マニホールド型」の燃料電池が一般的である。
- [0011] 更に、燃料電池100においては、反応ガスのガス漏れ(燃料ガスのカソード104b側への漏れ、酸化剤ガスのアノード104a側への漏れ、MEA105外部への反応ガスの漏れ等)を防止するために、互いに対向するアノード側セパレータ106a及びカソード側セパレータ106bの間において、MEA105の外縁部(アノード104a及びカソード104bの外部であって高分子電解質膜101の外縁部)に、ガスシール機能を有する一対の対向するガスケット、即ちアノード側ガスケット109a及びカソード側ガスケット109bが配置されている。
- [0012] これらアノード側ガスケット109a及びカソード側ガスケット109bとしては、例えばリング、ゴム状シート、弾性樹脂と剛性樹脂との複合シート等が用いられている。MEA105の取り扱い性の観点からは、ある程度の剛性を有する複合材系のガスケットをMEA105と一体化させて用いることが多い。
- [0013] このようなアノード側ガスケット109a及びカソード側ガスケット109bを、先に述べた高分子電解質膜101の全てのはみ出し部を挟み込むようにして配置することにより、アノード側セパレータ106a、高分子電解質膜101及びアノード側ガスケット109aにより、アノード104aを包み込む一つの閉空間が形成され、カソード側セパレータ106b、高分子電解質膜101及びカソード側ガスケット109bにより、カソード104bを包み込むまた別の閉空間が形成される。これらの閉空間によって、アノード104a及びカソード104bに供給される反応ガスのガス漏れの防止が図られている。
- [0014] ここで、アノード側ガスケット109a及びカソード側ガスケット109bを上述の位置に配置する際は、部材の加工公差や組み立て公差等がどうしても生じる。そのため、それ

ぞれアノード側ガスケット109a及びカソード側ガスケット109bと、アノード104a及びカソード104bの端面とを十分に密着させることは極めて困難である。従って、図22に示すように、アノード側ガスケット109a及びカソード側ガスケット109bを上述の位置に配置する場合、それぞれアノード側ガスケット109a及びカソード側ガスケット109bとアノード104a及びカソード104bとの間に隙間(即ちアノード側隙間110a及びカソード側隙間110b)が形成され易い。

[0015] このようなアノード側隙間110a及びカソード側隙間110bが形成されると、反応ガスがアノード側隙間110a及びカソード側隙間110bに漏れる場合がある。また、反応ガスの一部がアノード104a及びカソード104bの内部を流れずに当該アノード側隙間110a及びカソード側隙間110b内を進行してMEA105の外に放出されてしまい、効率的な発電性能を維持することが極めて困難になるという問題がある。

[0016] これに対し、例えば特許文献1においては、アノード側隙間110a及びカソード側隙間110bに、上記アノード側ガスケット109a及びカソード側ガスケット109bとは別のシール材を更に配置することによって、当該アノード側隙間110a及びカソード側隙間110bを塞ぎ、上述のような問題を解決することを意図した技術が提案されている。

特許文献1:特開2004-119121号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0017] しかしながら、アノード側隙間110a及びカソード側隙間110bに別のシール材を配置する上記の従来技術によっては、別のシール材により触媒層102a、102bやアノード側ガスケット109a及びカソード側ガスケット109bを歪ませてしまうことがあり、上述の問題を解決するには未だ改善の余地があった。更に、この従来技術においても、部材の加工公差や組み立て公差等がどうしても生じるため、別のシール材とアノード104a及びカソード104bの端面とを十分に密着させることは極めて困難であり、アノード側隙間110a及びカソード側隙間110bを完全にシールすることは極めて困難であった。

[0018] 本発明は、以上の問題を鑑みてなされたものであり、それぞれアノード側ガスケット及びカソード側ガスケットとアノード及びカソードの端面との間に上述のような隙間が

形成される場合であっても、反応ガスを電極反応に対して有効に利用することができ、簡単な構成で、十分な発電性能を確保することが可能な燃料電池及びこれを備える燃料電池スタックを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0019] 本発明は、上記の目的を達成するために、

アノード及びカソード並びにアノードとカソードとの間に配置される高分子電解質膜を有する膜電極接合体と、

前記膜電極接合体を挟持するようにして互いに対向配置されているアノード側セパレータ及びカソード側セパレータと、

前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータのうちの少なくとも一方に設けられており、前記膜電極接合体を冷却するための冷却流体を供給、排出するための冷却流体流路と、

前記アノード側セパレータに設けられており、前記膜電極接合体に反応ガスとしての燃料ガスを供給、排出するための燃料ガス流路と、

前記カソード側セパレータに設けられており、前記膜電極接合体に反応ガスとしての酸化剤ガスを供給、排出するための酸化剤ガス流路と、

前記アノード側セパレータの前記膜電極接合体側の主面のうちの、前記膜電極接合体の外側の部分に配置されており、前記反応ガスをシールするためのアノード側ガスケットと、

前記カソード側セパレータの前記膜電極接合体側の主面のうちの、前記膜電極接合体の外側の部分に前記アノード側ガスケットに対向するように配置されており、前記反応ガスをシールするためのカソード側ガスケットと、
を少なくとも具備しており、

前記冷却流体流路、前記燃料ガス流路、及び、前記酸化剤ガス流路は、それぞれの主要部同士が互いに略平行となるように設けられており、

前記アノード側ガスケットと前記膜電極接合体との間に形成されるアノード側隙間に流入する前記反応ガス中の水蒸気成分及び前記カソード側ガスケットと前記膜電極接合体との間に形成されるカソード側隙間に流入する前記反応ガス中の水蒸気成

分が、前記アノード側隙間及び前記カソード側隙間のうちの少なくとも一部において凝縮し、前記アノード側隙間及び前記カソード側隙間の少なくとも一方が凝縮水により閉塞するように、前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータのうちの少なくとも一方における前記冷却流体流路の上流部分が、前記アノード側隙間に対応する領域及び前記カソード側隙間に対応する領域のうちの少なくとも一方を含むように設けられており、かつ、前記冷却流体流路の前記上流部分は、前記燃料ガス流路及び前記酸化剤ガス流路のうちの少なくとも一方のガス流路の中流以降の部分に対応する領域を含むように設けられていること、

を特徴とする燃料電池を提供する。

[0020] ここで、本発明において、(I)「アノード側セパレータ及びカソード側セパレータのうちの少なくとも一方における冷却流体流路の上流部分が、アノード側隙間に対応する領域及びカソード側隙間に対応する領域のうちの少なくとも一方を含むように設けられている」状態とは、冷却流体流路の形成されている方のセパレータの主面の法線方向から冷却流体流路と上記隙間とを同時に見た場合{セパレータを透視(等倍に透視)して、セパレータ、MEA及びガスケットとの間に形成される隙間を同時に見た場合}、冷却流体流路の上流部分が、アノード側セパレータ中の「アノード側隙間に対応する領域」及びカソード側セパレータ中の「カソード側隙間に対応する領域」のうちの少なくとも一方の領域又は「当該領域の近傍」を少なくとも一部含むように形成されている状態をいう。即ち、上記のようにして見た場合、冷却流体流路の上流部分と、上記領域{「アノード側隙間に対応する領域」と、「カソード側隙間に対応する領域」、「アノード側隙間に対応する領域の近傍」及び「カソード側隙間に対応する領域の近傍」}のうちの少なくとも一部とが重なって見えるように形成されている状態をいう。

以下、上述の「アノード側隙間に対応する領域」、「カソード側隙間に対応する領域」、「アノード側隙間に対応する領域の近傍」、「カソード側隙間に対応する領域の近傍」及び「冷却流体流路の上流部分」について説明する。

[0021] 先ず、アノード側セパレータ中の「アノード側隙間に対応する領域」とは、アノード側セパレータと、当該アノード側セパレータの内側に配置されるMEAと、当該MEAの周囲に配置されるガスケットとを、アノード側セパレータの主面の法線方向から同時

に見た場合{アノード側セパレータを透視(等倍に透視)して、アノード側セパレータ、MEA及びガスケットを同時に見た場合}、MEAとガスケットとの間に形成される「アノード側隙間」を示す図形と同一の大きさ及び形状を有する断面を有するアノード側セパレータの領域をいう。

- [0022] 例えば、後述する図1及び図2を用いてより具体的に説明すると、図1及び図2の場合、アノード側セパレータの「アノード側隙間に対応する領域」は、アノード側セパレータ6aと、当該アノード側セパレータ6aの内側に配置されるMEA5と、当該MEA5の周囲に配置されるガスケット9aとを、アノード側セパレータ6aの主面の法線方向から同時に見た場合{アノード側セパレータを透視(等倍に透視)して、アノード側セパレータ6a、MEA5及びガスケット9aを同時に見た場合}、MEA5とガスケット9aとの間に形成される「アノード側隙間」10aを示す図形(例えば、図2において2本の2点鎖線で示されるリング状の図形A₁)と同一の大きさ及び形状を有する断面を有する筒状の領域A₁をいう。例えば、図2において、アノード側セパレータ6a中の領域A₁は、アノード側セパレータ6aの主面の法線方向から同時に見た場合に、「アノード側隙間」10aを示す図形に一致した状態で重なる領域である。

- [0023] なお、本発明の冷却流体流路は、アノード側隙間に連通しないように形成するものであればよく、図1に示すようにアノード側セパレータ6aのMEA5に接しない側の主面に溝として形成してもよく、アノード側セパレータ6aの内部に形成してもよい。例えば、冷却流体流路をアノード側セパレータの内部に形成する場合には、例えば、図1に示したアノード側セパレータ6aの場合には、図1に示したアノード側隙間に対応する領域A₁中にアノード側隙間10aに連通しないように設ければよい。

- [0024] また、カソード側セパレータ中の「カソード側隙間に対応する領域」とは、カソード側セパレータと、当該カソード側セパレータの内側に配置されるMEAと、当該MEAの周囲に配置されるガスケットとを、カソード側セパレータの主面の法線方向から同時に見た場合{カソード側セパレータを透視(等倍に透視)して、カソード側セパレータ、MEA及びガスケットを同時に見た場合}、MEAとガスケットとの間に形成される「カソード側隙間」を示す図形と同一の大きさ及び形状となる断面を有するカソード側セパレータの領域をいう。

- [0025] なお、上述した図1及び図2におけるアノード側隙間に対応する領域A₁に関する説明を図1におけるカソード側セパレータ6bに適用すればこのカソード側隙間に対応する領域については容易に理解できるため、更に具体的な説明は省略する。
- [0026] また、「アノード側隙間に対応する領域の近傍」とは、アノード側隙間に流入する反応ガス中の水蒸気成分を凝縮させ、当該アノード側隙間を凝縮水により閉塞させることが可能な範囲にある、上述の「アノード側隙間に対応する領域」の「周囲の領域」をいう(例えば、後述の図1に示す領域A₂又は領域A₃を参照)。この「周囲の領域」は、上述の「アノード側隙間に対応する領域」の内側の領域であってもよく(例えば、後述の図1に示す領域A₂)、「アノード側隙間に対応する領域」外側の領域であってもよい(例えば、後述の図1に示す領域A₃)。
- [0027] この「アノード側隙間に対応する領域の近傍」は、アノード側セパレータの熱伝導率(構成材料)、アノード側セパレータの温度、反応ガスの温度及び流速(流量)、冷却流体(冷却水等)の温度及び流速(流量)、並びに発電出力等の燃料電池の運転条件、構成条件等によりその大きさが変わるものである。
- [0028] したがって、例えば、後述の図1においては、冷却流体流路8aは、アノード側隙間10aに対応する領域A₁の「近傍A₂に位置」しているが、アノード側隙間10aに対応する「領域A₁に位置」するように形成されていてもよい。
- [0029] また、「カソード側隙間に対応する領域の近傍」とは、カソード側隙間に流入する反応ガス中の水蒸気成分を凝縮させ、当該カソード側隙間を凝縮水により閉塞させることが可能な範囲にある、上述の「カソード側隙間に対応する領域」の「周囲の領域」をいう。この「周囲の領域」は、上述の「カソード側隙間に対応する領域」の内側の領域であってもよく、「カソード側隙間に対応する領域」の外側の領域であってもよい。
- [0030] この「カソード側隙間に対応する領域の近傍」は、カソード側セパレータの熱伝導率(構成材料)、カソード側セパレータの温度、反応ガスの温度及び流速(流量)、冷却流体(冷却水等)の温度及び流速(流量)、並びに発電出力等の燃料電池の運転条件、構成条件等によりその大きさが変わるものである。
- [0031] また、冷却流体流路の「上流部分」とは、冷却流体流路のうち、式： $L1 \leq L2$ を満たす部分をいう。ここで、上記式中、L1は冷却流体流路の「上流部分」の流路長を示す

。また、上記式中、 $L2$ は、冷却流体流路がアノード側セパレータに形成される場合にはアノード側隙間をガス流路とみなした場合の全流路長を示し、冷却流体流路がカソード側セパレータに形成される場合にはカソード側隙間をガス流路とみなした場合の全流路長を示す。そして、冷却流体流路の「上流部分」は、一端を冷却流体供給用マニホールド孔との接続端とし、他端を上記式： $L1 \leq L2$ を満たす位置までとする間の部分をいう。上記式： $L1 \leq L2$ を満たす冷却流体流路の「上流部分」は温度が低く、アノード側隙間及びカソード側隙間に流入する水分を含んだ反応ガスを十分に冷却することができ、以下に説明する本発明の効果をを得ることができることを本発明者らは見出した。

[0032] また、本発明において、(II)「アノード側セパレータ及びカソード側セパレータのうちの少なくとも一方における冷却流体流路の上流部分が、燃料ガス流路及び酸化剤ガス流路のうちの少なくとも一方のガス流路の中流以降の部分に対応する領域を含むように設けられている」状態とは、冷却流体流路の形成されている方のセパレータの主面の法線方向から冷却流体流路と上記隙間とを同時に見た場合{セパレータを透視(等倍に透視)して、セパレータ、MEA及びガasketとの間に形成される隙間を同時に見た場合}、先に述べた本発明における「冷却流体流路の上流部分」がアノード側セパレータ中の「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」及びカソード側セパレータ中の「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」のうちの少なくとも一方の領域又は「当該領域の近傍」を少なくとも一部含むように形成されている状態をいう。即ち、上記のようにして見た場合、冷却流体流路の上流部分と、上記領域{「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」、「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」、「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域の近傍」及び「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域の近傍」}のうちの少なくとも一部とが重なって見えるように形成されている状態をいう。

[0033] 以下、上述の「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」、「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」、「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域の近傍」、「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域の近傍」及び「ガス流路の中流以降の部分」について説明する。

- [0034] 先ず、「燃料ガス流路の中流以降の部分」及び「酸化剤ガス流路の中流以降の部分」について両者をあわせて説明する。「ガス流路の中流以降の部分」とは、ガス流路のうち、式： $L3 \leq \{(2/3) \times L4\}$ を満たす部分をいう。ここで、上記式中、 $L3$ はガス流路の「中流以降の部分」の流路長を示す。また、 $L4$ は、ガス流路（燃料ガス流路又は酸化剤ガス流路）の全流路長を示す。そして、ガス流路の「中流以降の部分」は、一端を反応ガス排出用マニホールド孔との接続端とし、他端を上記式 $L3 \leq \{(2/3) \times L4\}$ を満たす位置までとする間の部分をいう。ガス流路（燃料ガス流路又は酸化剤ガス流路）は、一端を反応ガス供給用マニホールド孔との接続端とし、他端を反応ガス排出用マニホールド孔との接続端までとする部分をいう。
- [0035] 上流部分に含まれる反応成分（燃料成分（還元剤成分）、酸化剤成分）の多い反応ガスに比較して、上述の $L3 \leq \{(2/3) \times L4\}$ を満たすガス流路の「中流以降の部分」に含まれる反応ガスは、反応成分の減少や反応生成水の発生等にともない水分の含有率が大きくなる。そのため、上述の $L3 \leq \{(2/3) \times L4\}$ を満たすガス流路の「中流以降の部分」に含まれる反応ガスがアノード側隙間やカソード側隙間に流入しやすい上述の（II）の構成とすることにより、以下に説明する本発明の効果をを得ることができることを本発明者らは見出した。
- [0036] なお、本発明の効果をより確実に得る観点から、「ガス流路の中流以降の部分」は式： $L3 \leq \{(1/2) \times L4\}$ を満たす、より下流側の部分であることが好ましく、式： $L3 \leq \{(1/3) \times L4\}$ を満たす、更に下流側の部分であることがより好ましい。
- [0037] 次に、アノード側セパレータ中の「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」とは、アノード側セパレータの主面の法線方向から見た場合、先に述べた本発明における「燃料ガス流路の中流以降の部分」を示す図形と同一の大きさ及び形状を有する断面を有するアノード側セパレータの領域をいう。
- [0038] カソード側セパレータ中の「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」とは、カソード側セパレータの主面の法線方向から見た場合、先に述べた本発明における「酸化剤ガス流路の中流以降の部分」を示す図形と同一の大きさ及び形状を有する断面を有するカソード側セパレータの領域をいう。
- [0039] アノード側セパレータ中の「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域の近

傍」とは、燃料ガス流路からアノード側隙間に流入する反応ガス中の水蒸気成分を凝縮させ、当該アノード側隙間を凝縮水により閉塞させることが可能な範囲にある、上述の「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」の「周囲の領域」をいう。この「周囲の領域」は、上述の「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」の内側の領域であってもよく、「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」の外側の領域であってもよい。

[0040] この「燃料ガス流路の中流以降の部分に対応する領域の近傍」は、アノード側セパレータの熱伝導率(構成材料)、アノード側セパレータの温度、反応ガスの温度及び流速(流量)、冷却流体(冷却水等)の温度及び流速(流量)、並びに発電出力等の燃料電池の運転条件、構成条件等によりその大きさが変わるものである。

[0041] カソード側セパレータ中の「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域の近傍」とは、酸化剤ガス流路からカソード側隙間に流入する反応ガス中の水蒸気成分を凝縮させ、当該カソード側隙間を凝縮水により閉塞させることが可能な範囲にある、上述の「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」の「周囲の領域」をいう。この「周囲の領域」は、上述の「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」の内側の領域であってもよく、「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域」の外側の領域であってもよい。

[0042] この「酸化剤ガス流路の中流以降の部分に対応する領域の近傍」は、カソード側セパレータの熱伝導率(構成材料)、カソード側セパレータの温度、反応ガスの温度及び流速(流量)、冷却流体(冷却水等)の温度及び流速(流量)、並びに発電出力等の燃料電池の運転条件、構成条件等によりその大きさが変わるものである。

[0043] ここで、先に述べた従来の燃料電池におけるガス流路は、ガス漏れを防ぐ観点から、セパレータの上述の「アノード隙間に対応する領域」及び「カソード側隙間に対応する領域」を外れた部分に形成されていた。しかし、本発明者らは、鋭意検討を重ねた結果、このようにセパレータの「隙間に対応する領域」を外れた部分にガス流路を形成しても、隙間を通じたガス漏れが起こっており、これにより発電効率が低下していることを見出した。そして、本発明者らは鋭意検討の結果、この「ガス漏れ」を逆に積極的に利用し、セパレータにおける「冷却流体流路の上流部分」を先に述べた(I)及び

(II)の状態となるように設けて、ガスケットと膜電極接合体との間に形成される隙間(アノード側隙間、カソード側隙間)に流入する反応ガス中の水蒸気成分を、この隙間の少なくとも一部において凝縮させ、かつこの隙間の少なくとも一方を凝縮水により閉塞させることが、上記目的を達成する上で極めて有効であることを見出し、本発明を完成するに至ったのである。

[0044] 即ち、本発明では、燃料電池中に、ガスケットと膜電極接合体との間に形成される隙間(アノード側隙間、カソード側隙間)と、温度の比較的低い冷却流体が流れる部分である冷却流体流路の「上流部分」と、水分の含有率が比較的大きなガス流路(燃料ガス流路、酸化剤ガス流路)の「中流以降の部分」との3者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分を設けることにより、隙間の少なくとも一方を凝縮水により閉塞させることができ、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

[0045] 更に、本発明においては、冷却流体流路、燃料ガス流路、及び、酸化剤ガス流路は、それぞれの主要部同士が互いに略平行となるように設けられている。

これにより、冷却流体流路、燃料ガス流路、及び、酸化剤ガス流路の本数が一致する場合であっても異なる場合であっても、少なくとも1つのMEAについて、セパレータの主面に平行な面を見た場合の冷却流体流路の上流から下流への全体的な流れ方向(進行方向)と、反応ガス(燃料ガス及び酸化剤ガス)上流から下流への全体的な流れ方向(進行方向)とを極めて容易に略一致させることができるようになる。

[0046] その結果、反応ガスの流れにおいて水蒸気量の多い下流部分に、冷却流体の流れにおいて温度の高い下流部分が対応するようになるので、反応ガスの流れの下流側において飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)が上昇し、過剰な凝縮水の生成が低減されるようになる。そのため、電極面の含水状態が良好に保つことができ、ガス拡散電極の触媒層におけるフラッディングの発生をより確実に抑制することができる。また、この場合、反応ガスの流れの上流側において、飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)を低くし、高分子電解質膜の乾燥をより確実に防止することができる。更に、この場合、反応ガスの流れにおいて反応物の濃度が大きく反応熱の大きい上流部分に、冷却流体の流れにおいて温度の低い上流部分が対応するため、ガス拡散電極の主面の局所間における温

度分布のバラツキを十分に低減できて、燃料電池をより効率的に冷却することができるようになる。

[0047] ここで、本発明において「冷却流体流路、燃料ガス流路、及び、酸化剤ガス流路が、それぞれの主要部同士が互いに略平行となるように設けられている」状態について説明する。

まず、本発明においては、限られた大きさのセパレータの主面を有効に利用するため、冷却流体流路、燃料ガス流路、及び、酸化剤ガス流路は、それぞれ、セパレータの主面の一端から他端の方向に伸びる「長い流路」と、上記他端に達した上記長い流路を再び折り返して反対の端にのぼすための曲線状の流路の部分を含む「短い流路」とから構成する。限られた大きさのセパレータの主面を有効に利用する観点から、特に、本発明においては、後述の実施形態で説明するように、冷却流体流路、燃料ガス流路、及び、酸化剤ガス流路は、それぞれ、セパレータの主面の一端から他端の方向に伸びる直線状の流路（長い流路）と曲線状の流路の部分を含むターン部（短い流路）を有するサーペンタイン型構造を有する流路であることが好ましい。

[0048] そして、「冷却流体流路、燃料ガス流路、及び、酸化剤ガス流路は、それぞれの主要部同士が互いに略平行」とは3種類（冷却流体流路、燃料ガス流路、及び、酸化剤ガス流路）の流路の上記「長い流路」同士が「設計の制約上不可能な領域」を除いて幾何学的に略平行な関係にあることをいう。「略平行」とは、製造条件の制約上、幾何学的に厳密な平行となる状態を実現することは困難であるため、設計上、平行となることを意図して製造する際に、MEA、これをはさんで互いに対向配置される一对のセパレータの位置合せ時の位置ずれ（組立公差）などの幾何学的に厳密な平行となる状態からわずかにずれた状態を含んでいてもよいということである。互いに略平行な関係にある流路中を流れる流体（冷却流体、反応ガス）の流れの進行方向は、互いに並んで並走する状態（以下、必要に応じて「並行流」という）であつてもよく、上記並走する状態とは逆の状態（以下、必要に応じて対向流という）であつてもよい。上記対向流の関係にある部分が含まれていても、セパレータの主面に平行な面で見した場合の冷却流体流路の上流から下流への全体的な流れ方向（進行方向）と、反応ガス（燃料ガス及び酸化剤ガス）上流から下流への全体的な流れ方向（進行方向）とが略

一致していれば、先に述べたフラッディングの抑制、高分子電解質膜の乾燥の防止、燃料電池の効率的な冷却の効果を得ることができる(例えば、図7及び図8を参照)。

セパレータの「設計の制約上不可能な領域」とは、設計上、以下の(α)、(β)の制約のために、当該(α)、(β)の部分で、3種類(冷却流体流路、燃料ガス流路、及び、酸化剤ガス流路)の流路の上記「長い流路」同士を略平行な状態とすることができない領域をいう。

(α)3種類(冷却流体流路、燃料ガス流路、及び、酸化剤ガス流路)の流路を独立して設けるために、設計上、反応ガスの供給用マニホールド孔および排出用マニホールド孔、並びに、冷却流体の供給用マニホールド孔および排出用マニホールド孔をセパレータ板の異なる位置に設けなければならない。そのため、各マニホールド孔と各流路との接続部分が異なる位置に設けられることになるから、この部分では、同一のセパレータにおいて、反応ガスの流れ方向と冷却流体の流れ方向とを完全に一致させることは不可能であり、この部分では、3種類の流路の「長い流路」同士が上述の略平行な状態とならなくなる。これは、いわゆる外部マニホールド型セパレータでもいわゆる内部マニホールド型セパレータでも不可能である。

(β)セパレータの一方の主面に形成されるガス流路と、その裏の主面(又は内部)に形成される冷却流体流路とにおいて、「長い流路」の本数や、「短い流路」の本数などの条件が完全に一致しない場合がある。この場合、例えば、セパレータの主面の法線方向からみた場合、反応ガス流路の「長い流路」の一部と冷却流体流路の「短い流路」の一部とが重なって見える部分ができる。この部分でも3種類の流路の「長い流路」同士が上述の略平行な状態とならなくなる。

(γ)ガスケットと膜電極接合体との間に形成される隙間(アノード側隙間、カソード側隙間)と、温度の比較的低い冷却流体が流れる部分である冷却流体流路の「上流部分」と、水分の含有率が比較的大きなガス流路(燃料ガス流路、酸化剤ガス流路)の「中流以降の部分」との3者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分を形成するため、この部分でも3種類の流路の「長い流路」同士が上述の略平行な状態とならなくなる。

- [0049] 以上説明したように、本発明の構成を有していれば、例えば燃料電池の運転条件やガス流路の幾何学的条件{ガス流路の断面(ガスの流れ方向に略垂直な断面)形状、ガス流路の断面の周囲長、ガス流路の溝幅(セパレータの各リブ間の距離)、ガス流路の溝深さ(セパレータの各リブの高さ)、ガス流路の長さ(ガス流路の、反応ガス供給用マニホールド孔に接続された一端から反応ガス排出用マニホールド孔に接続された他端までの長さ)}等のうちの少なくとも1つを調整することにより、アノード側ガスケット及びカソード側ガスケットとアノード及びカソードの端面との間に上述のような隙間が形成される場合であっても、反応ガスを電極反応に対して有効に利用することができ、簡単な構成で、十分な発電性能を確保することが可能な燃料電池を提供することができる。
- [0050] 即ち、例えば、(i)入口での反応ガス(即ち燃料ガス供給用マニホールド孔における燃料ガス及び酸化剤ガス供給用マニホールド孔における酸化剤ガス)の水蒸気圧(P_{H_2O})、(ii)冷却流体の温度及び流量並びに(iii)反応ガスの利用率等、更には、(iv)ガス流路の幾何学的条件及びガス流路における圧力損失(入口圧力値と出口圧力値との差)、並びに(v)燃料電池の出力等の燃料電池の運転条件やガス流路の幾何学的条件等を適宜調整することによって、従来の燃料電池よりも容易かつ確実に本発明の効果を得ることができる。
- [0051] より具体的には、発電によって水蒸気をより多く含む反応ガスが、アノード側ガスケットと膜電極接合体との間に形成されるアノード側隙間及びカソード側ガスケットと膜電極接合体との間に形成されるカソード側隙間のうちの一方に流れて回り込んだとしても、反応ガス中に含まれる水蒸気成分が、アノード側隙間及びカソード側隙間に対応する領域に位置する冷却流体流路の上流部分によってより効果的に冷却され、上記隙間の少なくとも一部において凝縮し、上記隙間が凝縮水により閉塞する。その結果、閉塞後に反応ガスが上記隙間を流れて回り込むことがなく、上記反応ガスをアノード又はカソード面内に確実に供給することができる。従って、反応ガスを電極反応に対して有効に利用することができ、簡単な構成で、十分な発電性能を確保することが可能な燃料電池を提供することができる。
- [0052] 更に、上記反応ガスが、上記アノード側隙間及び上記カソード側隙間の両方に流

れて回り込んだとしても、反応ガス中に含まれる水蒸気成分が、アノード側隙間及びカソード側隙間に対応する領域に位置する冷却流体流路の上流部分によってより効果的に冷却され、上記隙間の少なくとも一部において凝縮し、上記隙間が凝縮水により閉塞するため、閉塞後に反応ガスが上記隙間を流れて回り込むことがなく、上記反応ガスをアノード及びカソード面内の両方に確実に供給することができる。従って、反応ガスを電極反応に対して有効に利用することができ、簡単な構成で、十分な発電性能を確保することが可能な燃料電池を提供することができる。

[0053] なお、本明細書における「反応ガス」には、燃料ガス及び酸化剤ガスはもとより、当該燃料ガス及び酸化剤ガスが、電極反応により生成した生成物や未反応の反応物を含む場合も含まれる。

[0054] また、本発明は、複数の燃料電池が積層された構成を有する燃料電池スタックであって、
燃料電池として先に述べた本発明の燃料電池が少なくとも一つ搭載されていること、
を特徴とする燃料電池スタックを提供する。

[0055] 本発明の燃料電池スタックによれば、先に述べた本発明の燃料電池を搭載しているので、反応ガスを電極反応に対して有効に利用することができ、簡単な構成で、十分な発電性能を確保することが可能となる。

発明の効果

[0056] 本発明によれば、発電により水蒸気をより多く含む反応ガスが、アノード側ガスケット及びカソード側ガスケットと膜電極接合体との間に形成されるアノード側隙間及びカソード側隙間のうちのいずれかに流れ込み、反応ガス中に含まれる水蒸気成分が、アノード側隙間及びカソード側隙間に対応する領域に位置する冷却流体流路の上流部分によって効果的に冷却されることから、上記隙間の少なくとも一部において凝縮し、上記隙間が凝縮水により閉塞する。

この結果、反応ガスが上記隙間を流れることがなく、上記反応ガスをアノード及びカソード面内に確実に供給することができ、上記反応ガスを効率的に使用して発電性能を良好に向上させることが可能な燃料電池を提供することができる。

[0057] 更に、本発明によれば、膜電極接合体とガスケットとの間に形成される隙間の相対

湿度を上げる構造のガス流路を設けたセパレータを用いるため、反応ガスが、アノード及びカソードを通ることなく上記隙間を通して反応ガス供給側マニホールド孔から反応ガス排出用マニホールド孔へ流れ出ることを抑制し、上記反応ガスをすべて発電に利用でき、高い発電効率を得ることができる燃料電池を提供することができる。

また、本発明によれば、本発明の燃料電池を搭載し、反応ガスを電極反応に対して有効に利用することができ、簡単な構成で、十分な発電性能を確保することが可能となる燃料電池スタックを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0058] [図1]本発明の高分子電解質形燃料電池の第1実施形態の基本構成を示す要部概略断面図である。

[図2]図1に示した燃料電池10のアノード側セパレータ6aの主面を冷却流体流路8a側から見た場合の正面図である。

[図3]図1に示した燃料電池10のアノード側セパレータ6aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。

[図4]図1に示した燃料電池10のカソード側セパレータ6bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。

[図5]図1に示した燃料電池10のカソード側セパレータ6bの主面を冷却流体流路8b側から見た場合の正面図である。

[図6]図1におけるX-Xで切断した場合における燃料電池10の断面を示す(アノードセパレータ6aを取り除き、膜電極接合体5のアノード4aの主面の法線方向から燃料電池10を見た場合の正面図を示す)。

[図7]図1に示した燃料電池10のアノード側セパレータ6aの主面を冷却流体流路8a側から見た場合の正面図である。

[図8]図1に示した燃料電池10のアノード側セパレータ6aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。

[図9]図2におけるY-Y線で切断した場合における燃料電池10の断面を示す概略断面図である。

[図10]図1に示した燃料電池10を複数備える燃料電池スタック(本発明の燃料電池

スタックの第1実施形態)の基本構成を示す要部概略断面図である。

[図11]本発明の燃料電池の第2実施形態に備えられるアノード側セパレータ26aの主面を冷却流体流路8a側から見た場合の正面図である。

[図12]本発明の燃料電池の第2実施形態に備えられるアノード側セパレータ26aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。

[図13]本発明の第2実施形態の燃料電池に備えられるカソード側セパレータ26bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。

[図14]本発明の第2実施形態の燃料電池に備えられるカソード側セパレータ26bの主面を冷却流体流路8b側から見た場合の正面図である。

[図15]本発明の燃料電池の第3実施形態に備えられるアノード側セパレータ46aの主面を冷却流体流路8a側から見た場合の正面図である。

[図16]本発明の第3実施形態の燃料電池に備えられるアノード側セパレータ46aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。

[図17]本発明の燃料電池の第3実施形態に備えられるカソード側セパレータ46bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。

[図18]本発明の燃料電池の第3実施形態に備えられるカソード側セパレータ46bの主面を冷却流体流路8b側から見た場合の正面図である。

[図19]本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第4実施形態の基本構成を示す要部概略断面図である。

[図20]本発明の燃料電池スタックの第5実施形態の基本構成を示す要部概略断面図である。

[図21]図20に示した第5実施形態の燃料電池スタック30Bの構成を有する燃料電池スタックの一例を示す概略断面図である。

[図22]本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるカソード側セパレータ6bの主面を冷却流体流路8b側から見た場合の正面図である。

[図23]本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるカソード側セパレータ6bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。

[図24]本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるアノ-

ド側セパレータ6Aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。

[図25]本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるカソード側セパレータ6Bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。

[図26]本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるアノード側セパレータ6Aの主面をガス流路7aの形成されていない面の側から見た場合の正面図である。

[図27]本発明の燃料電池スタックの第7実施形態に搭載されるエンドセパレータ6eの主面を冷却流体流路8f側から見た場合の正面図である。

[図28]本発明の燃料電池の他の実施形態の基本構成を示す要部概略断面図である。

。

[図29]本発明の燃料電池の他の実施形態の基本構成を示す要部概略断面図である。

。

[図30]本発明の燃料電池の他の実施形態の基本構成を示す要部概略断面図である。

。

[図31]比較例のセパレータ60bの主面を冷却流体流路80b側から見た場合の正面図である。

[図32]比較例のセパレータ60bの主面をガス流路70b側から見た場合の正面図である。

[図33]比較例のエンドセパレータ60eの主面を冷却流体流路80f側から見た場合の正面図である。

[図34]従来の高分子電解質形燃料電池の基本構成を示す要部概略断面図である。

発明を実施するための最良の形態

[0059] 以下、図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について説明する。なお、以下の説明では、同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明は省略することもある。

[0060] [第1実施形態]

図1は、本発明の高分子電解質形燃料電池の第1実施形態の基本構成を示す要部概略断面図である。図2は、図1に示した燃料電池10のアノード側セパレータ6aの

主面を冷却流体流路8a側から見た場合の正面図である。図3は、図1に示した燃料電池10のアノード側セパレータ6aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。図4は、図1に示した燃料電池10のカソード側セパレータ6bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。図5は、図1に示した燃料電池10のカソード側セパレータ6bの主面を冷却流体流路8b側から見た場合の正面図である。

図6は、図1におけるX-Xで切断した場合における燃料電池10の断面を示す(アノードセパレータ6aを取り除き、膜電極接合体5のアノード4aの主面の法線方向から燃料電池10を見た場合の正面図を示す)。図7は、図1に示した燃料電池10のアノード側セパレータ6aの主面を冷却流体流路8a側から見た場合の正面図である。図8は、図1に示した燃料電池10のアノード側セパレータ6aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。図9は、図2におけるY-Y線で切断した場合における燃料電池10の断面を示す概略断面図である。図10は、図1に示した燃料電池10を複数備える燃料電池スタック(本発明の燃料電池スタックの第1実施形態)の基本構成を示す要部概略断面図である。

- [0061] 図1に示す第1実施形態の燃料電池10は、主として膜電極接合体5(以下、必要に応じて「MEA5」という)と、膜電極接合体5を挟持する一対の板状のセパレータ(即ちアノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6b)と、膜電極接合体5のアノード4aの周囲に配置されるアノード側ガスケット9aと、膜電極接合体5のカソード4bの周囲に配置されるカソード側ガスケット9bと、を含む構成の単電池を少なくとも1つ含む構成を有している。
- [0062] 図1に示すように、膜電極接合体5は、主として、アノード4a及びカソード4bの間に陽イオン(水素イオン)伝導性を有する高分子電解質膜1が配置された構成を有している。
- [0063] 高分子電解質膜1は、固体電解質であり、水素イオンを選択的に輸送する水素イオン伝導性を有する。発電中の膜電極接合体9では、アノード4aで生成する水素イオンは、この高分子電解質膜1中をカソード4bに向けて移動する。
- [0064] 高分子電解質膜1としては、特に限定されるものではなく、通常の固体高分子形燃料電池に搭載される高分子電解質膜を使用することができる。例えば、パーフルオロ

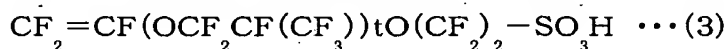
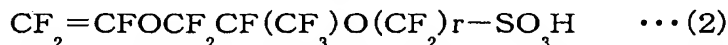
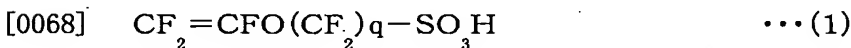
カーボンスルホン酸からなる高分子電解質膜(例えば、米国DuPont社製のNafion(商品名)、旭硝子(株)製のFlemion(商品名)およびAciplex(商品名)、ジャパンゴアテックス(株)製のGSIIなど)を使用することができる。

- [0065] 高分子電解質膜1の陽イオン交換基としては、スルホン酸基、カルボン酸基、ホスホン酸基、及びスルホンイミド基を有するものが好ましくあげられる。プロトン伝導性の観点から、高分子電解質膜1はスルホン酸基を有するものが特に好ましい。

スルホン酸基を有する高分子電解質膜を構成する樹脂としては、イオン交換容量が0.5～1.5meq/g乾燥樹脂であることが好ましい。高分子電解質膜のイオン交換容量が0.5meq/g乾燥樹脂以上であると、発電時における高分子電解質膜の抵抗値の上昇をより十分に低減できるので好ましく、イオン交換容量が1.5meq/g乾燥樹脂以下であると、高分子電解質膜の含水率を適当に保ちつつ、触媒層中の良好なガス拡散特性を十分に確保しやすいため好ましい。以上と同様の観点から、イオン交換容量は0.8～1.2meq/g乾燥樹脂が特に好ましい。

- [0066] 高分子電解質としては、 $\text{CF}_2=\text{CF}-(\text{OCF}_2\text{CFX})_m-\text{O}p-(\text{CF}_2)_n-\text{SO}_3\text{H}$ で表されるパーフルオロビニル化合物(mは0～3の整数を示し、nは1～12の整数を示し、pは0又は1を示し、Xはフッ素原子又はトリフルオロメチル基を示す。)に基づく重合単位と、テトラフルオロエチレンに基づく重合単位とを含む共重合体であることが好ましい。

- [0067] 上記フルオロビニル化合物の好ましい例としては、下記式(1)～(3)で表される化合物が挙げられる。ただし、下記式中、qは1～8の整数、rは1～8の整数、tは1～3の整数を示す。



- [0069] また、高分子電解質膜1は、一種又は複数種の高分子電解質で構成されていてもよい。

- [0070] 高分子電解質膜1は、十分な機械的強度を確保する観点から、内部に水素イオン伝導を確保できる状態で配置される補強体(充填材)を含んでいてもよい。このような

補強体を構成する材料としては、例えばポリテトラフルオルエチレン又はポリフルオロアルコキシエチレンが挙げられる。上記補強体としては、その内部に高分子電解質（水素イオン伝導性を有するもの）を充填可能な孔を有する多孔体又はフィブリル状の繊維からなるものなどが挙げられる。

[0071] なお、フィブリル状の繊維とは、表面に存在するフィブリル（小繊維）が毛羽立ちさくれた状態（フィブリル化した状態）となっている繊維をいい、各フィブリルの間に微細な空気溝（孔）が形成されている繊維をいう。例えば、セルロース系繊維はすべて、フィブリルが多数集まった束であり、各フィブリルの間には微細な空気溝（孔）がある。

[0072] 図1に示すように、カソード4bは、主として、高分子電解質膜1の主面上に配置されている触媒層2b（カソード触媒層2b）と、更に触媒層2bの外側に配置されているガス拡散層3c（カソード拡散層3c）と、から構成されている。

[0073] 触媒層2bの構成は、本発明の効果をえられるものであれば特に限定されず、公知の燃料電池に搭載されているガス拡散電極の触媒層と同様の構成を有していても良い。例えば、カソード触媒層2bの構成としては、電極触媒が担持された導電性炭素粒子と、陽イオン（水素イオン）伝導性を有する高分子電解質とを含む構成を有していてもよく、更に、ポリテトラフルオロエチレンなどの撥水材料を含む構成を有していてもよい。尚、高分子電解質としては、上述した高分子電解質膜1の構成材料と同種のものを使用してもよく異なる種類のものを使用してもよい。高分子電解質としては、高分子電解質膜1の構成材料として記載したものを使用することができる。

[0074] 上記のカソード電極触媒は、金属粒子（例えば貴金属からなる金属粒子）からなり、導電性炭素粒子（粉末）に担持されて用いられる。当該金属粒子は、特に限定されず種々の金属を使用することができるが、電極反応活性の観点から、白金、金、銀、ルテニウム、ロジウム、パラジウム、オスミウム、イリジウム、クロム、鉄、チタン、マンガン、コバルト、ニッケル、モリブデン、タングステン、アルミニウム、ケイ素、亜鉛およびスズからなる群より選択される少なくとも1種であることが好ましい。

[0075] また、電極触媒の粒子は平均粒径1～5nmであることがより好ましい。平均粒径1nm以上の電極触媒は工業的に調製が容易であるため好ましく、また、5nm以下であると、電極触媒質量あたりの活性をより十分に確保しやすくなるため、燃料電池のコ

ストダウンにつながり好ましい。

[0076] 上記の導電性炭素粒子は比表面積が $50\sim 1500\text{m}^2/\text{g}$ であることが好ましい。比表面積が $50\text{m}^2/\text{g}$ 以上であると、電極触媒の担持率を上げることが容易であり、得られたカソード触媒層2bの出力特性をより十分に確保できることから好ましく、比表面積が $1500\text{m}^2/\text{g}$ 以下であると、十分な大きさの細孔をより容易に確保できるようになりかつ高分子電解質による被覆がより容易となり、カソード触媒層2bの出力特性をより十分に確保できることから好ましい。上記と同様の観点から、比表面積は $200\sim 900\text{m}^2/\text{g}$ が特に好ましい。

[0077] また、導電性炭素粒子は、その平均粒径が $0.1\sim 1.0\mu\text{m}$ であることが好ましい。 $0.1\mu\text{m}$ 以上であると、カソード触媒層2b中のガス拡散性をより十分に確保し易くなり、フラッドイングをより確実に防止できるようになるため好ましい。また、導電性炭素粒子の平均粒径が $1.0\mu\text{m}$ 以下であると、高分子電解質による電極触媒の被覆状態をより容易に良好な状態とし易くなり、高分子電解質による電極触媒の被覆面積をより十分に確保し易くなるため、十分な電極性能をより確保し易くなり好ましい。

[0078] ガス拡散層3bとしては、ガス透過性を持たせるために、高表面積のカーボン微粉末、造孔材、カーボンペーパーまたはカーボクロスなどを用いて作製された、多孔質構造を有する導電性基材を用いてもよい。また、十分な排水性を得る観点から、フッ素樹脂を代表とする撥水性高分子などをガス拡散層3bの中に分散させてもよい。さらに、十分な電子伝導性を得る観点から、カーボン繊維、金属繊維またはカーボン微粉末などの電子伝導性材料でガス拡散層3bを構成してもよい。

[0079] 図1に示すように、アノード4aは、主として、高分子電解質膜1の主面上に配置されている触媒層2a(アノード触媒層2a)と、更に触媒層2aの外側に配置されているガス拡散層3a(アノードガス拡散層3a)と、から構成されている。

触媒層2aは、電極触媒をカーボン粉末に担持させて得られる触媒担持カーボンと、水素イオン伝導性を有する高分子電解質とを含む構成を有している。アノード電極触媒としては特に限定されず、公知の高分子電解質形燃料電池のアノードに使用される電極触媒を使用することができる。例えば、Pt構成元素として含む金属微粒子を用いてもよく、一酸化炭素に対する良好な耐久性を持たせるため、Pt及びRuを構成

元素として含む金属微粒子を用いてもよい。

[0080] ガス拡散層3aの構成は、本発明の効果を得られるものであれば特に限定されず、公知の燃料電池に搭載されているガス拡散電極のガス拡散層と同様の構成を有していてもよい。例えば、先に述べたガス拡散層3b(カソードガス拡散層3b)と同一の構成を有していても良い。また、ガス拡散層3aの構成及びガス拡散層3bの構成は、同一であってもよく、異なってもよい。

[0081] 図1、図6及び図9に示すように、MEA5は、ガス漏れを防止するためのアノード側ガスケット9a、カソード側ガスケット9bを配置する観点から、高分子電解質膜1の主面の大きさが、アノード4a及びカソード4bの主面の大きさよりも大きく、かつ、高分子電解質膜1の全外縁部(図1中のPで示す領域)がアノード4a及びカソード4bの外縁端部よりも外側に突出する構成を有している。なお、図9に示すアノード側ガスケット9aとアノード4a(ガス拡散層3a及び触媒層2a)との間のアノード側隙間10aの奥には図示しない高分子電解質膜1(の主面)が存在している。また、なお、本明細書においては、上述したように、これらのアノード4a及びカソード4bの外縁端部よりも外側に突出した高分子電解質膜1の外縁部Pを「はみ出し部」ともいう。

[0082] 以下、アノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bについて説明する。アノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bは、導電性を有しており、MEA5を機械的に固定するとともに、複数の単電池を積層して用いる場合、隣接するMEA5同士を互いに電氣的に直列に接続するものである。

[0083] アノード4aには、これに反応ガス(燃料ガス)を供給し、電極反応により生成した生成物や未反応の反応物を含むガスをMEA5の外部に運び去るためのガス流路7aが一方の面(即ちアノード側セパレータ6aのMEA5に接する側の主面)に形成されている。

カソード4bには、反応ガス(酸化剤ガス)を供給し、電極反応により生成した生成物や未反応の反応物を含むガスをMEA5の外部に運び去るためのガス流路7bが一方の面(即ちカソード側セパレータ6bのMEA5に接する側の主面)に形成されている。

[0084] また、アノード側セパレータ6aのガス流路7aの形成されている主面と反対側の主面には、発電中の電池温度をほぼ一定に調節するための冷却流体(冷却水等)を導入

するための冷却流体流路8aが形成されている。また、カソード側セパレータ6bのガス流路7bの形成されている主面と反対側の主面には、発電中の電池温度をほぼ一定に調節するための冷却流体(冷却水等)を導入するための冷却流体流路8bが形成されている。冷却流体を燃料電池10と外部に配置した熱交換器(図示せず)との間で循環させる構成とすることにより、反応により発生した熱エネルギーを、温水等の形で利用することができる。

- [0085] 製造工程を簡素化できる等の利点から、ガス流路7aは、アノード側セパレータ6aのMEA5に接する側の主面に溝を設けることにより形成されている。また、上記と同様の利点から、冷却流体流路8aも、アノード側セパレータ6aのガス流路7aの形成されている主面と反対側の主面に溝を設けることにより形成されている。更に、上記と同様の利点から、ガス流路7bも、カソード側セパレータ6bのMEA5に接する側の主面に溝を設けることにより形成されている。また、上記と同様の利点から、冷却流体流路8bも、カソード側セパレータ6bのガス流路7bの形成されている主面と反対側の主面に溝を設けることにより形成されている。に溝を設けることにより形成されている。

なお、第1実施形態の燃料電池10の場合、図5に示すように、カソード側セパレータ6bの冷却流体流路8bの形状は、図2に示すアノード側セパレータ6aを冷却流体流路8aと同じである。

- [0086] 1つの燃料電池10が出力できる電圧値は限られるため(理論上、還元剤に水素ガス、酸化剤に酸素を用いた場合には約1.23V)、使用環境に応じて所望の出力電圧を得る観点から、燃料電池10は、図10に示す燃料電池スタック30を構成する単電池として用いられる。特に図10に示す燃料電池スタック30の場合、これを構成する全ての燃料電池が図1～図9に示す燃料電池10となっている。

- [0087] 図10に示すように、燃料電池スタック30は、複数のMEA5間にアノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bを介在させ、複数のMEA5を電氣的に直列に積層して得られる。この場合、燃料電池スタック30を構成するには、外部のガスライン(図示せず)を通じて燃料電池スタック30に供給される反応ガスをさらに分岐して各MEA5に供給するためのマニホールド、各MEA5から排出されるガスをまとめて燃料電池スタック30の外部に排出するためのマニホールド、外部の冷却流体ライン(図示

せず)を通じて燃料電池スタック30に供給される冷却流体を必要な数に分岐させてアノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bのうちの少なくとも1つに供給するためのマニホールドが必要となる。

[0088] そのため、図2、図3、図4及び図5に示すように、アノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bには、燃料ガス供給用マニホールド孔14、燃料ガス排出用マニホールド孔15、冷却流体供給用マニホールド孔16、冷却流体排出用マニホールド孔17、酸化剤ガス供給用マニホールド孔18、及び酸化剤ガス排出用マニホールド孔19が設けられている。

[0089] また、各燃料電池10のアノード側セパレータ6aにおいて、冷却流体流路8aの一端は冷却流体供給用マニホールド孔16に接続され他端が冷却流体排出用マニホールド孔17に接続されている。更に、各燃料電池のアノード側セパレータ6aにおいて、ガス流路7aの一端は燃料ガス供給用マニホールド孔14に接続され他端が燃料ガス排出用マニホールド孔15に接続されている。また、各燃料電池10のカソード側セパレータ6bにおいて、冷却流体流路8bの一端は酸化剤ガス供給用マニホールド孔18に接続され他端が酸化剤ガス排出用マニホールド孔19に接続されている。更に、各燃料電池のカソード側セパレータ6bにおいて、ガス流路7bの一端は酸化剤ガス供給用マニホールド孔18に接続され他端が酸化剤ガス排出用マニホールド孔19に接続されている。

即ち、本実施形態の燃料電池10はセパレータ中にマニホールドを有するいわゆる「内部マニホールド型」の構成を有している。

[0090] そして、この燃料電池10の場合、図2及び図3に示すように、先に述べた本発明の効果をj得るために、アノード側セパレータ6aについて以下の構成が採用されている。すなわち、アノード側セパレータ6aでは、アノード側ガasket9aとMEA5との間に形成されるアノード側隙間10aと、冷却流体流路8aの「上流部分」と、燃料ガス流路7a「中流以降の部分」(この燃料電池10では特に下流以降の部分)との3者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分が設けられている。これにより、アノード側隙間10aを凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

[0091] ここで、燃料電池スタック30においては、これを構成する燃料電池10のアノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bの複数の燃料ガス供給用マニホールド孔14が連続的に積層された状態で組み合わされて燃料ガス供給用マニホールド(図示せず)が形成されている。また、燃料電池スタック30においては、これを構成する燃料電池10のアノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bの複数の燃料ガス排出用マニホールド孔15が連続的に積層された状態で組み合わされて燃料ガス排出用マニホールド(図示せず)が形成されている。さらに、燃料電池スタック30においては、冷却流体供給用マニホールド孔16、冷却流体排出用マニホールド孔17、酸化剤ガス供給用マニホールド孔18、及び酸化剤ガス排出用マニホールド孔19についても、上述の燃料ガス供給用マニホールドと同様に、複数のマニホールド孔が連続的に積層された状態で組み合わされてマニホールド(図示せず)が形成されている。

[0092] また、図6は、図1におけるX-X線断面を示す図(即ち、図1の燃料電池10からアノード側セパレータ6aを取り外し、MEA5の主面の法線方向から見た場合の正面図である。図1及び図6に示すように、本発明の燃料電池10においては、反応ガスのガス漏れ(燃料ガスのカソード4b側への漏れ、酸化剤ガスのアノード4a側への漏れ、MEA5外部への反応ガスの漏れ等)を防止するために、互いに対向するアノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bの間において、MEA5の外縁部(アノード4a及びカソード4bの外部であって高分子電解質膜1のはみ出し部P)に、ガスシール機能を有する一対の対向するガスケット、即ちアノード側ガスケット9a及びカソード側ガスケット9bが配置されている。

[0093] これらのアノード側ガスケット9a及びカソード側ガスケット9bは、例えば断面形状が略矩形の連続環状体の構造(リング状の構造)を有しており、先に述べた高分子電解質膜1の全てのはみ出し部Pを挟み込んでいる。そして、アノード側セパレータ6a、高分子電解質膜1及びアノード側ガスケット9aにより、アノード4aを包み込む一つの閉空間が形成され、カソード側セパレータ6b、高分子電解質膜1及びカソード側ガスケット9bにより、カソード4bを包み込むまた別の閉空間が形成される。これらの閉空間によって、アノード4a及びカソード4bに供給される反応ガスのガス漏れの防止が図ら

れている。

- [0094] なお、アノード側ガスケット9a及びカソード側ガスケット9bの構成材料としては優れたガスシール性を有していれば特に限定されず、公知の高分子電解質形燃料電池のガスケットに使用されているものを使用することができる。例えば、アノード側ガスケット9a及びカソード側ガスケット9bは、Oリング、ゴム状シート(フッ素ゴムからなるシート等)、弾性樹脂と剛性樹脂との複合シート、フッ素系の合成樹脂シート等を用いて従来公知の方法によって作製することができる。
- [0095] しかしながら、上述のように、アノード側ガスケット9a及びカソード側ガスケット9bを上述の位置に配置する際は、部材の加工公差や組み立て公差等がどうしても生じる。そのため、それぞれアノード側ガスケット9a及びカソード側ガスケット9bと、アノード4a及びカソード4bの端面とを十分に密着させることは極めて困難である。従って、図1に示すように、それぞれアノード側ガスケット9a及びカソード側ガスケット9bとアノード4a及びカソード4bとの間に隙間(即ち、アノード側隙間10a及びカソード側隙間10b)が形成され易い。
- [0096] 即ち、燃料電池10の場合、高分子電解質膜1、アノード側ガスケット9a、アノード側セパレータ6a及びアノード4aの端面を含んで画成される空間からなるアノード側隙間10aが形成されている。また、燃料電池10の場合、高分子電解質膜1、カソード側ガスケット9b、カソード側セパレータ6b及びカソード4bの端面を含んで画成される空間からなるカソード側隙間10bが形成されている。
- [0097] このようなアノード側隙間10a及びカソード側隙間10bが形成されると、反応ガス(の一部)がガス流路7a及びガス流路7bを流れずにアノード側隙間10a及びカソード側隙間10bに漏れて回り込む場合があり、また、反応ガスの一部がアノード4a及びカソード4bの内部を流れずに当該アノード側隙間10a及びカソード側隙間10b内を進行してMEA5の外に放出されてしまい、効率的な発電性能を維持することが困難になるという問題があるところ、従来の技術ではこのような問題を十分に解決することはできなかった。
- [0098] そこで、図1、図2および図3に示すように、燃料電池10においては、アノード側ガスケット9aと膜電極接合体5との間に形成されるアノード側隙間10aに流入する反応ガ

ス中の水蒸気成分が、アノード側隙間10aの少なくとも一部において凝縮し、アノード側隙間10aが凝縮水により閉塞するように、アノード側セパレータ6aにおける冷却流体流路8aの上流部分が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられており、かつ、燃料ガス流路7aの中流以降の部分に対応する領域を含むように設けられている。

[0099] なお、図2において、「アノード側隙間10aに対応する領域」は、図2中一点鎖線で示されている領域 A_1 と、領域 A_1 の周囲の領域 A_2 （領域 A_1 の内側）及び領域 A_3 （領域 A_1 の外側）とをあわせた領域である。燃料電池10の場合、図1及び図2に示すように冷却流体流路8aの上流部分は、「アノード側隙間10aに対応する領域」のうちの領域 A_2 にその一部が位置するように形成されている。また、図1及び図2に示すようにアノード側セパレータ6aのガス流路7aの中流以降の部分は、図1中の領域 B_2 にその一部が位置するように形成されている。この領域 B_2 も「アノード側隙間10aに対応する領域」の一部であり、MEA5の主面の法線方向から見た場合には、領域 A_2 に重なり合う領域である。ここで、先にも述べたように、この「アノード側隙間10aに対応する領域」は、アノード側セパレータ6aの熱伝導率（構成材料）、アノード側セパレータ6aの温度、反応ガスの温度及び流速（流量）、冷却流体（冷却水等）の温度及び流速（流量）、並びに発電出力等の燃料電池の運転条件、構成条件等によりその大きさが変わるものである。

[0100] 特に、アノード側隙間10の場合では、図2に示す冷却流体流路8aの上流部分のうちでも温度のより低い冷却流体供給用マニホールド孔16に近い領域20と、図3に示すガス流路7aの中流以降の部分のうちでも水分の含有率が大きな燃料ガス排出用マニホールド孔15に近い領域21とがアノード側隙間10aに対応する領域の一部と近接して配置されている。これにより、アノード側隙間10aを凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

[0101] なお、図5に示すように、燃料電池スタック30の場合、カソード側セパレータ6bの冷却流体流路8bの形状は、図2に示すアノード側セパレータ6aを冷却流体流路8aと同じであり、2つのMEA5の間に配置されるアノード側セパレータ6aの冷却流体流路8aとカソード側セパレータ6bの冷却流体流路8bは全域にわたり結合して冷却流

体流路8cを構成する。より詳しくは、冷却流体流路8aと冷却流体流路8bとは、アノード側セパレータ6aとカソード側セパレータ6bとの接触面において互いに鏡像の関係にある。図5に示す各冷却流体流路8cはこれらが隣接する各アノード側セパレータ6aに対して上述の冷却流体流路8aと同様の効果を発揮する。

- [0102] なお、図5に示す燃料電池スタック30の場合、末端に配置される燃料電池10の外側にはエンドセパレータ6Cが配置される。図5に示すように、末端に配置される燃料電池10の外側のセパレータがカソード側セパレータ6bの場合には、更にその外側に配置されるエンドセパレータ6Cの内面には、カソード側セパレータ6bの冷却流体流路8bと全域にわたり結合して冷却流体流路8eを画成する冷却流体流路8dが形成されている。

より詳しくは、冷却流体流路8bと冷却流体流路8dとは、カソード側セパレータ6bとエンドセパレータ6Cとの接触面において互いに鏡像の関係にある。

- [0103] エンドセパレータ6Cを配置することにより、末端に配置される燃料電池10の外側のセパレータの外側の冷却流体流路も冷却流体流路として使用することが可能になる。なお、末端に配置される燃料電池10の外側のセパレータの外側の冷却流体流路を使用しなくとも、燃料電池10を十分に冷却できる場合には、冷却流体流路(図10の場合は冷却流体流路8e)に冷却流体を流さない構成としてもよく、末端に配置される燃料電池10の外側のセパレータの外側の冷却流体流路をふさぐ凸部を有する別のエンドセパレータを配置してもよく、末端に配置される燃料電池10の外側のセパレータのみ冷却流体流路(図10の場合は冷却流体流路8e)を設けずに、エンドセパレータを配置しない構成としてもよい。エンドセパレータは集電板の機能を兼ねていてもよい。また、図10のエンドセパレータ6Cのかわりに、冷却流体流路8eを設けていない平板状のエンドセパレータを、配置してもよい。

- [0104] 以上のような構成を有する本実施形態の燃料電池10及び燃料電池スタック30では、発電により水蒸気等水分をより多く含む水分の含有率の高い反応ガスが、アノード側ガスケット9aと膜電極接合体5との間に形成されるアノード側隙間10aに流れ込む。一般的にガスの露点が周囲温度を上回ると、当該反応ガスに含まれる水分が凝縮を始める。燃料電池10及び燃料電池スタック30では、冷却流体流路8aの上流部

分20及び冷却流体流路8bの上流部分(図示せず)が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられかつ燃料ガス流路7aの中流以降の部分に対応する領域を含むように設けられているので、反応ガスに含まれる水蒸気成分が、供給直後で最も温度の低い冷却流体が流れる上記の上流部分によって効果的に冷却され、アノード側隙間10aの少なくとも一部において凝縮し、上記アノード側隙間10aを凝縮水により閉塞することができる。

[0105] この燃料電池10ように、空気を反応ガスとして使用できるカソードに対し、化石燃料を改質して得られる水素を主成分として含む改質ガス、水の電気分解で得られる水素ガスなどコストの高い反応ガスを使用するアノードにおいて、反応ガス(燃料ガス)の利用効率を向上させることは重要である。

[0106] 上述のようにアノード側隙間10aで水が凝縮する結果、閉塞後には反応ガスがガス流路7a、ガス流路7b以外の部分、即ち、アノード側隙間10aを流れることがなく、当該反応ガスをガス流路7a及びガス流路7bに確実に供給することができるようになる。従って、反応ガスを効率的に使用して発電性能を良好に向上させることが可能となる。

[0107] また、図2に示すアノード側セパレータ6aにおいて、冷却流体流路8aは、限られた大きさのアノード側セパレータ6aの主面(略矩形状の主面)を有効に利用するため、冷却流体供給用マニホールド孔16からアノード側隙間10aを最短距離で交差してアノード4aに対応する部分(電極部、即ち図2中、2つの一点鎖線のうち内側の一点鎖線に囲まれた電極に接触する部分に対応する部分)まで延びている。また、アノード側セパレータ6aの主面を有効に利用するため、冷却流体流路8aはサーペンタイン構造を有している。より詳しく説明すると、冷却流体流路8aは水平方向(図2のアノード側セパレータ6aにおいて、酸化剤ガス供給用マニホールド孔18及び燃料ガス排出用マニホールド孔15が設けられている部分側の辺に略平行な方向)に延びる13本の直線部77a(長い流路)と、隣接する直線部の端を上流側から下流側へ連結する12個のターン部77b(短い流路)とを有する。

[0108] そして、図2に示すように、冷却流体流路8aの上流のうちの冷却流体供給用マニホールド孔16に近い領域20が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられている

。より詳しくは、冷却流体流路8aの上流のうちの、先に述べた「上流部分」である「式： $L1 \leq L2$ を満たす部分」にほぼ相当する領域{即ち、最上流の直線部(水平方向に延びる直線部)を含む上流側の5本の直線部77a(77a1~77a5)と、これら5本の直線部77aと結合する上流側の4つのターン部77b(77b1~77b4)とからなる領域}が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられている。

なお、本実施形態においては、最上流の直線部77aだけでなく、水平方向に延びる直線部のうちの最下流の直線部もアノード側隙間10aに対応する領域に設けられている(図2において、一端が冷却流体排出用マニホールド17に接続されている直線部77aの部分)。

[0109] また、本実施形態においては、図3に示すアノード側セパレータ6aにおけるガス流路7aは、限られた大きさのアノード側セパレータ6aの主面を有効に利用するため、燃料ガス供給用マニホールド孔14からカソード側隙間10aを最短距離で交差してアノード4aに対応する部分(電極部)まで延びている。電極部において、ガス流路7aはサーペンタイン構造を有している。

[0110] より詳しく説明すると、ガス流路7aは、水平方向(図3のアノード側セパレータ6aにおいて燃料ガス排出用マニホールド孔15及び酸化剤ガス供給用マニホールド孔18が設けられている部分側の辺に略平行な方向)に延びる9本の直線部77a(長い流路)と、隣接する直線部の端を上流側から下流側へ連結する8個のターン部77b(短い流路)とを有している。更に、ガス流路7aは、ターン部77bから電極部の左側(図3のアノード側セパレータ6aにおいて燃料ガス排出用マニホールド孔15及び冷却流体排出用マニホールド孔17が設けられている部分側)に位置する1本の垂直方向に延びる直線部77c(長い流路)を有している。更に、ガス流路7aは、電極部の上側(図2のアノード側セパレータ6aにおいて燃料ガス排出用マニホールド孔15及び酸化剤ガス供給用マニホールド孔18が設けられている部分側)において、直線部77cから水平方向に延びる直線部77e(長い流路)と、一端が燃料ガス排出用マニホールド孔15に接続されている最下流の直線部77f(長い流路)と、直線部77eと直線部77fを上流側から下流側へ連結する1個のターン部77d(短い流路)とを有する。

[0111] ここで、ガス流路7aは、先に述べた「中流以降の部分」うちの好ましい部分(下流部

分)に相当する「式: $L3 \leq \{(1/3) \times L4\}$ を満たす部分にほぼ相当する領域21{即ち、図3中の直線部77fと、ターン部77dと、直線部77eと、直線部77cのうちの下流側の一部を含む領域77c1}が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられている。更にこの領域21は、先に述べた冷却流体流路8aの上流のうちの「上流部分」にほぼ相当する領域20に近接して設けられている。

[0112] また、図5に示すように、カソード側セパレータ6bにおける冷却流体流路8bも、図2に示すアノード側セパレータ6aにおける冷却流体流路8aと同様の形状を有する。

[0113] 更に、図4に示すように、カソード側セパレータ6bにおけるガス流路7bは、酸化剤ガス供給用マニホールド孔18からカソード側隙間10bを最短距離で交差してカソード4bに対応する部分(電極部)まで延びている。電極部において、ガス流路7bはサーペンタイン構造を有している。即ち、ガス流路7bは、水平方向(図4のカソード側セパレータ6bにおいて酸化剤ガス供給用マニホールド孔18及び燃料ガス排出用マニホールド孔15が設けられている部分側の辺に略平行な方向)に延びる11本の直線部77a(長い流路)と、隣接する直線部の端を上流側から下流側へ連結する10個のターン部77b(短い流路)とを有する。

[0114] また、図3に示すように、アノード側セパレータ6aにおいては、ガス流路7aに連通する燃料ガス供給用マニホールド孔14及び燃料ガス排出用マニホールド孔15が、アノード側ガasket9aの外側に設けられている。換言すると、燃料ガス供給用マニホールド孔14は矩形状の主面を有するアノード側セパレータ6aの1つの辺上の側縁部に設けられ、燃料ガス排出用マニホールド孔15はアノード側セパレータ6aの対向する別の辺上における端縁部に設けられている。そして、アノード側隙間10aは、燃料ガス供給用マニホールド孔14からの反応ガスが侵入するルートとして、第1のルート(図3において燃料ガス供給用マニホールド孔14に近い点 Q_1 から酸化剤ガス供給用マニホールド18に近い点 Q_2 を経て燃料ガス排出用マニホールド孔15に近い点 Q_3 へ続く部分)と、当該第1のルートより長い第2のルート(図3において点 Q_1 から点 Q_4 及び点 Q_5 を経由して点 Q_3 へと続く部分、即ち図2において点 P_1 から点 P_2 へと続く部分)を有している。

[0115] そして、アノード側セパレータ6aにおける冷却流体流路8aの先に述べた上流部分

20と先に述べたガス流路7aの中流以降の部分の領域21とが、アノード側隙間10aの第1のルートの一部に対応する領域、及び、第2ルートのうちの燃料ガス排出用マニホールド孔15に近い下流の一部に対応する領域の両方に近接して設けられている。これにより、アノード側隙間10aの第1のルート及び第2ルートの両方を凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。特に、このような構成の場合、反応ガスは長い第2のルートよりも短い第1のルートを回り込み易いため、冷却流体流路8aのうちの最も温度の低い最上流の直線部77aを第1のルートの近くに配置することができるので、第1のルート優先的に水を凝縮させて閉塞することができ、反応ガスの回り込みをより有効に防ぐことができる。

[0116] また、この燃料電池10及び燃料電池スタック30の場合、図2、図3、図4、図5、図7及び図8に示すように、全てのアノード側セパレータ6a及び全てのカソード側セパレータ6bについて、冷却流体流路8a、冷却流体流路8b、燃料ガス流路7a、及び、酸化剤ガス流路7bが、先に述べたように、「それぞれの主要部同士が互いに略平行」となるように設けられている。

[0117] これにより全てのMEA5について、アノード側セパレータ6aの主面及び全てのカソード側セパレータ6bの主面に平行な面で見た場合の冷却流体流路の上流から下流への全体的な流れ方向(進行方向)と、反応ガス(燃料ガス及び酸化剤ガス)上流から下流への全体的な流れ方向(進行方向)とを極めて容易に略一致させることができるようになる。

その結果、反応ガスの流れにおいて水蒸気量の多い下流部分に、冷却流体の流れにおいて温度の高い下流部分が対応するようになるので、反応ガスの流れの下流側において飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)が上昇し、過剰な凝縮水の生成が低減されるようになる。そのため、電極面の含水状態が良好に保つことができ、触媒層2a及び触媒層2bにおけるフラッドイングの発生をより確実に抑制することができる。

[0118] また、この場合、反応ガスの流れの上流側において、飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)を低くし、高分子電解質膜1の乾燥をより確実に防止することができる。更に、この場合、反応ガスの流れにおいて反応物の濃度が大きく反応熱の大きい上流部分に、冷却流体の流れにおいて温度の低い上流部分が対応するため、アノード4aの主面の局所間

における温度分布のバラツキ及びカソード4bの主面の局所間における温度分布のバラツキを十分に低減できて、燃料電池10及びこれを複数積層した燃料電池スタック30をより効率的に冷却することができるようになる。

[0119] より詳しく説明すると、図7及び図8に示すように、本実施形態においては、冷却流体流路8aの内部領域を流れる冷却流体の上流から下流への全体的な流れ方向 D_1 と、ガス流路7aの内部領域を流れる反応ガス(ここでは燃料ガス)の上流から下流への全体的な流れ方向 D_2 とが、略一致するように構成されている。即ち、冷却流体の上流から下流への全体的な流れ方向 D_1 と反応ガス(ここでは燃料ガス)の上流から下流への全体的な流れ方向 D_2 とが略並行となって並走するように構成されている。本構成によれば、反応ガスの流れにおいて水蒸気量の多い下流部分に、冷却水の流れにおいて温度の高い下流部分が対応するため、反応ガスの流れの下流側において飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)が上昇し、過剰な凝縮水の生成が低減される。そのため、電極面の含水状態が良好に保たれるようになり、触媒層2aや触媒層2bにおけるフライングの発生をより確実に抑制することができる。また、本構成によれば、反応ガスの流れの上流側において、飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)を低くし、高分子電解質膜の乾燥をより確実に防止することができる。更に、本構成によれば、反応ガスの流れにおいて反応物の濃度が大きく反応熱の大きい上流部分に、冷却水の流れにおいて温度の低い上流部分が対応するため、ガス拡散電極3a及び3bの主面の局所間における温度分布のバラツキを十分に低減できて、より効率的に単電池10(燃料電池スタック30)を冷却することができるようになる。

[0120] ここで、燃料電池10では、図9に示すように、アノード側セパレータ6aの酸化剤ガス供給用マニホールド孔18からカソード側隙間10bを経て電極部に到達する部分において、酸化剤ガスが直接カソード側隙間10bに流れ込まないように、遮断板23を配置する。この遮断板23の寸法及び形状は、ガス流路7bを通る酸化剤ガスがカソード側隙間10aに入り込むことを有効に防止するように、当該部分においてカソード側隙間10bを閉塞し、かつ本発明の効果を損なわない範囲で適宜決定することができる。

[0121] 従って、図示していないが、燃料ガス排出用マニホールド孔15、燃料ガス排出用マ

ニホールド孔16及び酸化剤ガス排出用マニホールド孔19からのガス流路が、それぞれアノード側隙間10a及びカソード側隙間10bと交差する部分にも、同様に遮断板を配置することが好ましい。なお、遮断板の材質としては、反応ガスを透過させにくく、かつ反応ガスによって腐食しにくい材料であれば特に制限はなく、本発明の効果を損なわない範囲で適宜選択すればよい。

[0122] 次に、燃料電池10及び燃料電池スタックの製造方法について説明する。

まず、膜電極接合体5を製造する。膜電極接合体5の製造方法は特に限定されるものではなく、公知の高分子電解質形燃料電池の膜電極接合体を製造する更に採用されている薄膜製造技術を用いて製造することができる。例えば、カソード触媒層2bは、以下に例示するカソード触媒層形成用ペーストを調製し、これを用いて形成することができる。即ち、例えばPtを50wt%担持したカーボン粒子を触媒として、これに陽イオン交換樹脂溶液、例えば高分子電解質膜1と同質のフッ素系スルホン酸高分子樹脂溶液(例えば当該樹脂の固形分10wt%をエタノール、水の混合溶液に配合した溶液)に徐々に加え、触媒の単位面積当たりの樹脂固形分が、例えば $2\text{mg}/\text{m}^2$ 相当となるまでPtを担持したカーボン粒子を混合し、カソード触媒層形成用のペーストにする。

[0123] カソード触媒層形成用ペーストに含有させる陽イオン交換樹脂溶液の量は、カーボン粒子の比表面積、細孔サイズ、分散性により変化する。比表面積が大きいほど、分散性が高いほど、樹脂量は多くなる。例えば、樹脂が進入することができないほど小さな細孔によって比表面積が大きくなっている場合に最適樹脂量は少なくなる。例えば、ケッチェンブラックの場合、単位g当たりの最適樹脂量は $1.4\text{g}/\text{g}$ である。また、使用するカーボンの種類は結晶化、グラファイト化したものであれば、カーボンの酸化を抑制することができ、より望ましい。

[0124] アノード触媒層2aは、以下に例示するアノード触媒層形成用ペーストを調整し、これを用いて形成することができる。アノード触媒層形成用ペーストは、アノード電極触媒をカーボン粉末に担持させた触媒担持カーボンを用いる場合は、上記のPtを担持したカーボン粒子の代わりに、Pt及びRuを構成元素として含む微粒子を担持したカーボン粒子を用いる以外は、先に述べたカソード触媒層形成用ペーストと同様の方

法で調製すればよい。

- [0125] より詳しくは、電極触媒としてのPt及びRuを構成元素として含む微粒子をカーボンに担持させたものをアノード電極触媒とし、これに陽イオン交換樹脂溶液、例えば高分子電解質膜1と同質のフッ素系スルホン酸高分子樹脂溶液(例えば当該樹脂の固形分10wt%をエタノール、水の混合溶液に配合した溶液)に徐々に加え、調製する。
- [0126] なお、アノード電極触媒をカーボン粉末に担持させた触媒担持カーボンを用いる場合は、アノード触媒層形成用ペーストに含有させる陽イオン交換樹脂溶液の量は、先に述べたカソード触媒層形成用ペーストと同様に用いられればよい。
- [0127] 次に、先に述べた製造方法により作製されたカソード触媒層形成用ペースト、またはアノード触媒層形成用ペーストを、それぞれPPフィルムなどの合成樹脂フィルムにバーコーターにより塗布した後、乾燥させる。乾燥後、所望の電極サイズにカットして、高分子電解質膜にホットプレスにより転写させ、カソード触媒層2b、及びアノード触媒層2aを形成する。触媒層形成方法はこの方法に限定されるものではなく、膜に触媒層ペーストを印刷する方法や、膜に触媒層ペーストをスプレー塗工する方法などでもよい。その時、用いられる高分子電解質膜については、特に限定はなく、先に述べたように、スルホン酸基を有する高分子電解質交換膜を用いることができる。
- [0128] 更に、従来公知の薄膜積層体の製造方法を用いて、図1及び図6に示す状態となるようにアノード触媒層2aまたはカソード触媒層2bの外側にそれぞれ、ガス拡散層3aとガス拡散層3bを積層させる。次に、アノード4a及びカソード4bの間に高分子電解質膜1を挟んで配置させる。このとき、ガスケット9a及びガスケット9bを、アノード4a及びカソード4bの周囲に配置する。
- [0129] 次に、膜電極接合体9の外側に、アノード側セパレーター6a、カソード側セパレーター6bを図1で示したように配置させ、燃料電池10を形成する。次に、燃料電池10を複数積層することにより、燃料電池スタック30を製造する。
- [0130] ここで、アノード側セパレーター6a及びカソード側隙間10bは、ガス流路7a、ガス流路7b、冷却流体流路8a、及び、冷却流体流路8bを先に述べた形状で形成すること以外は、従来の高分子電解質形燃料電池のセパレータの製造方法を用いて製造する

ことができる。構成材料も従来の高分子電解質形燃料電池のセパレータの構成材料を使用することができる。例えば、アノード側セパレータ6a及びカソード側隙間10bは、導電性の平板を切削加工する工程を含む製造方法により形成してもよく、構成材料を含む流体を金型に入れて成型加工するといった金型を用いる工程を含む製造方法(圧縮成型技術などによる方法)により形成してもよい。

[0131] 次に、以上説明した燃料電池10(単電池)において得られる効果を、アノード4a及びカソード4bの主面の面積を 100cm^2 に設定し、これらアノード4a及びカソード4bの大きさに対応する大きさを有するアノード側セパレータ6a(図2に示す冷却流体流路8a及び図3に示す燃料ガス用のガス流路7aを有する)及びカソード側セパレータ6b(図4に示す酸化剤ガス用のガス流路7b及び図5に示す冷却流体流路8bを有する)を用いることを想定した場合の1つの燃料電池10についてのシミュレーション結果を用いてより詳しく説明する。

[0132] 冷却流体流路8aに供給する冷却水について、 70°C の冷却水が冷却流体供給用マニホールド16から供給され、 74°C の冷却水が冷却流体排出用マニホールド17から排出されるように設定する。

また、燃料ガスとして水素と二酸化炭素との混合ガス(体積比を8:2とする)を用い、燃料ガス利用率が70%となり、燃料ガスの露点が 70°C となるように、当該燃料ガスを加湿して燃料ガス供給用マニホールド孔14に供給することとする。更に、酸化剤ガスとして空気を用い、酸化剤ガス利用率が45%となり、酸化剤ガスの露点が 68°C となるように、当該酸化剤ガスを加湿して酸化剤ガス供給用マニホールド孔18に供給することとする。なお、燃料ガス排出用マニホールド孔15及び酸化剤ガス排出用マニホールド孔19は大気中(常圧)に開放する構成とする。また、互いに対向配置された一対の集電板の間に図1に示した燃料電池10を配置し、この集電板を通じて 0.3 A/cm^2 の条件で連続発電を行う構成とする。

[0133] 上記のように設定による電流密度と電極面積とから、燃料電池10の発電により、1秒間に生成される生成水の量は理論的に $1.55 \times 10^{-4}\text{ mol/s}$ となる。この生成水がカソード4bから高分子電解質膜1を通じてアノード4aへ移動しないと仮定すると、燃料ガス排出用マニホールド孔15から出てくる水蒸気の量は、燃料ガス供給用マニホ

ールド孔14から供給された、加湿された燃料ガスに含まれた水の量となる。

[0134] このとき、燃料ガス供給用マニホールド孔14における燃料ガス及び酸化剤ガス供給用マニホールド孔18における酸化剤ガスの露点が、それぞれアノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bの一番低い温度に対して、 $-4^{\circ}\text{C}\sim+4^{\circ}\text{C}$ の間となるように加湿条件を設定して計算する。なお、以上の運転条件の場合、生成水がカソード4bから高分子電解質膜1を通じてアノード4aへ移動すると仮定しても同様の結果が得られることを確認した。

[0135] また、燃料ガス排出用マニホールド孔15から排出されるガスの組成は、外部から供給される燃料ガスから発電のために消費された水素を引いたものとなり、計算の結果、水蒸気分圧は296.8mmHgとなる。更に、このとき排出されるガスの露点は 75.6°C となる。燃料ガス用のガス流路7aについて、燃料ガス供給用マニホールド孔14から燃料ガス排出用マニホールド孔15にかけて燃料ガスの露点の変化を計算すると、燃料ガスの露点が 70°C から 75.6°C まで徐々に変化することがわかった。

ここで、上記の運転条件では冷却水の温度がMEA5の温度よりも約 2°C 低く、MEA5の温度も冷却流体流路8aを流れる冷却水の温度の変化に応じて、冷却流体流路8aに沿うように変化する。そこで、MEA5の温度の変化を計算すると、冷却流体供給用マニホールド孔16の近傍領域から冷却流体排出用マニホールド孔17の近傍領域にかけて 72°C から 76°C まで徐々に変化することがわかった。

[0136] 熱力学的には、ガス流路7aを流れる燃料ガスの露点が、MEA5の温度よりも上回ると、燃料ガスに含まれる水が凝縮することとなる。上述のようにガス流路7aの上流から下流にかけて燃料ガスの露点が上昇していることから、熱力学的には、図3におけるガス流路7aの先に述べた「中流以降の部分」うちの好ましい部分である下流の領域21(特に、最下流側に位置する直線部77f)に含まれる水分の含有率の多い反応ガスをアノード側隙間10aに対応する領域で利用すれば当該アノード側隙間10aに対応する領域において水の凝縮を起こさせることができることとなる。

[0137] そして、この燃料電池10では、冷却流体流路8aの上流部分20及びガス流路7aの下流の領域21がアノード側隙間10aに対応する領域に設けられており、冷却流体流路8aの先に述べた上流部分20において最も冷却効果が強いことと、上述の計算結

果のとおり当該上流部分20に近接するガス流路7aの下流の領域21において燃料ガスの露点が最も上昇することから、アノード側隙間10aにおいて容易かつ効果的に凝縮水を生成させることができることがわかる。

[0138] なお、アノード側隙間10a内には電極触媒が存在せず、発電に伴う熱が発生しないことから、アノード側隙間10a内の温度は低い。そのため、この観点からも、アノード側隙間10a内で水が凝縮し易いと考えられる。

[0139] 上記のように水を凝縮させてアノード側隙間10aを閉塞した後は、反応ガスがガス流路7a以外の部分、即ちアノード側隙間10aを流れることがなく、当該反応ガスをアノード4aに確実に供給することができる。従って、燃料電池10は、反応ガスを効率的に使用でき良好な発電性能を得ることができる。

[0140] [第2実施形態]

次に、本発明の燃料電池の第2実施形態について説明する。この第2実施形態の燃料電池及び燃料電池スタック(ともに図示せず)は、図1に示した第1実施形態の燃料電池10におけるアノード側セパレータ及びカソード側セパレータを異なる構成に代えたものであり、アノード側セパレータ及びカソード側セパレータ以外の構成は第1実施形態の燃料電池10及び燃料電池スタック30と同様である。

[0141] 以下、第2実施形態の燃料電池に備えられるアノード側セパレータ及びカソード側セパレータについて説明する。

ここで、図11は、本発明の燃料電池の第2実施形態に備えられるアノード側セパレータ26aの主面を冷却流体流路8a側から見た場合の正面図である。図12は、本発明の燃料電池の第2実施形態に備えられるアノード側セパレータ26aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。図13は、本発明の第2実施形態の燃料電池に備えられるカソード側セパレータ26bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。図14は本発明の第2実施形態の燃料電池に備えられるカソード側セパレータ26bの主面を冷却流体流路8b側から見た場合の正面図である。

[0142] そして、この燃料電池の場合、図11～図14に示すように、先に述べた本発明の効果を得るために、アノード側セパレータ26a及びカソード側セパレータ26bの両方について以下の構成が採用されている。

すなわち、アノード側セパレータ26aでは、アノード側ガスケット9a(図1参照)とMEA5(図1参照)との間に形成されるアノード側隙間10a(図1参照)と、冷却流体流路8aの「上流部分」と、燃料ガス流路7a「中流以降の部分」(この燃料電池では特に下流以降の部分)との3者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分が設けられている。これにより、アノード側隙間10aを凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

また、カソード側セパレータ26bでは、カソード側ガスケット9bとMEA5との間に形成されるカソード側隙間10b(図1参照)と、冷却流体流路8bの「上流部分」と、燃料ガス流路7b「中流以降の部分」(この燃料電池では特に下流以降の部分)との3者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分が設けられている。これにより、カソード側隙間10bを凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

[0143] なお、図11及び図12に示すアノード側セパレータ26a、並びに、図13及び図14に示すカソード側セパレータ26bにおいて、アノード側セパレータ26aの冷却流体流路8aとカソード側セパレータ26bの冷却流体流路8bとは同一の構造を有する。例えば、図10に示した燃料電池スタック30と同様の状態で積層した場合(同種のマニホールド孔同士が連結するようにして積層した場合)に、冷却流体流路8aと冷却流体流路8bとは略完全に重なり合う状態となる。また、アノード側セパレータ26aのガス流路7aとカソード側セパレータ26bのガス流路7bとは同一の構造を有する。例えば、図10に示した燃料電池スタック30と同様の状態で積層した場合(同種のマニホールド孔同士が連結するようにして積層した場合)に、ガス流路7aとガス流路7bとは略完全に重なり合う状態となる。

そのため、以下の説明では、主としてアノード側セパレータ26aについて説明し、カソード側セパレータ26bについてはアノード側セパレータ26aと重複する説明は省略する。

[0144] 図11に示すアノード側セパレータ26aにおいて、冷却流体流路8aは、冷却流体供給用マニホールド孔16からアノード側隙間10aを最短距離で交差して、アノード4a

に対応する部分(電極部、即ち図11中、2つの一点鎖線のうち内側の一点鎖線に囲まれた電極に接触する部分に対応する部分)まで延びている。また、アノード側セパレータ26aの主面を有効に利用するため、冷却流体流路8aはサーペンタイン構造を有している。より詳しく説明すると、冷却流体流路8aは水平方向(図11のアノード側セパレータ26aにおいて冷却流体供給用マニホールド孔16及び酸化剤ガス排出用マニホールド孔19が設けられている部分側の辺に略平行な方向)に延びる1本の直線部77a1及び垂直方向に延びる1本の直線部77cを経て、水平方向に延びる11本の直線部77a(長い流路)と、隣接する直線部の端を上流側から下流側へ連結する10個のターン部77b(短い流路)とを有する。

[0145] そして、図11に示すように、冷却流体流路8aの上流のうちの冷却流体供給用マニホールド孔16に近い領域20が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられている。より詳しくは、冷却流体流路8aの上流のうちの、先に述べた「上流部分」である「式: $L1 \leq L2$ を満たす部分」にほぼ相当する領域(即ち、先に述べた上流側の直線部77a1、直線部77c、直線部77e、及び、ターン部77b1(4つのターン部77bのうちの最上流側に位置する流路)とからなる領域)が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられている。

[0146] また、図12に示すアノード側セパレータ26aのガス流路7aは、図3に示した第1実施形態の燃料電池10に備えられるアノード側セパレータ26aのガス流路7aと同一の構造を有する。

[0147] 即ち、より詳しく説明すると、ガス流路7aは、水平方向(図12のアノード側セパレータ26aにおいて燃料ガス排出用マニホールド孔15及び酸化剤ガス供給用マニホールド孔18が設けられている部分側の辺に略平行な方向)に延びる9本の直線部77a(長い流路)と、隣接する直線部の端を上流側から下流側へ連結する8個のターン部77b(短い流路)とを有している。更に、ガス流路7aは、ターン部77bから電極部の左側(図12のアノード側セパレータ26aにおいて燃料ガス排出用マニホールド孔15及び冷却流体排出用マニホールド孔17が設けられている部分側)に位置する1本の垂直方向に延びる直線部77c(長い流路)を有している。更に、ガス流路7aは、電極部の上側(図12のアノード側セパレータ26aにおいて燃料ガス排出用マニホールド孔1

5及び酸化剤ガス供給用マニホールド孔18が設けられている部分側)において、直線部77cから水平方向に延びる直線部77e(長い流路)と、一端が燃料ガス排出用マニホールド孔15に接続されている最下流の直線部77f(長い流路)と、直線部77eと直線部77fを上流側から下流側へ連結する1個のターン部77d(短い流路)とを有する。

[0148] ここで、ガス流路7aは、先に述べた「中流以降の部分」うちの好ましい部分(下流部分)に相当する「式: $L3 \leq \{(1/3) \times L4\}$ 」を満たす部分にほぼ相当する領域21(即ち、図12中の直線部77fと、ターン部77dと、直線部77eと、直線部77cのうちの下流側の一部を含む領域77c1)が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられている。更にこの領域21は、先に述べた図11の冷却流体流路8aの上流のうちの「上流部分」にほぼ相当する領域20に近接して設けられている。

[0149] 以上のような構成を有する本実施形態の燃料電池及び燃料電池スタックでは、発電により水蒸気をより多く含む反応ガスが、アノード側ガスケット9aと膜電極接合体5との間に形成されるアノード側隙間10a及びカソード側ガスケット9bと膜電極接合体5との間に形成されるカソード側隙間10bのうちの少なくとも一方に流れ込む。一般的にガスの露点が周囲温度を上回ると、当該反応ガスに含まれる水分が凝縮を始める。燃料電池及び燃料電池スタックでは、冷却流体流路8aの上流部分20及び冷却流体流路8bの上流部分20がそれぞれアノード側隙間10aに対応する領域及びカソード側隙間10bに対応する領域に設けられているので、反応ガスに含まれる水蒸気成分が、アノード側隙間10a及びカソード側隙間10bにおいて効果的に冷却され、アノード側隙間10aの少なくとも一部及びカソード側隙間10bの少なくとも一部において凝縮し、アノード側隙間10a及びカソード側隙間10bを凝縮水により閉塞することができる。

[0150] 上述のようにアノード側隙間10a及びカソード側隙間10bで水が凝縮する結果、閉塞後には反応ガスがガス流路7a、ガス流路7b以外の部分、即ちアノード側隙間10a及びカソード側隙間10bを流れることがなく、当該反応ガスをガス流路7a及びガス流路7bに確実に供給することができる。従って、反応ガスを効率的に使用して発電性能を良好に向上させることが可能となる。

- [0151] また、本実施形態においては、アノード側隙間10aは、燃料ガス供給用マニホールド孔14からの反応ガスが侵入するルートとして、第1のルート(図3と同様に図12において燃料ガス供給用マニホールド孔14に近い点 Q_1 から酸化剤ガス供給用マニホールド18に近い点 Q_2 を経て燃料ガス排出用マニホールド孔15に近い点 Q_3 へ続く部分)と、当該第1のルートより長い第2のルート(図3と同様に図12において点 Q_1 から点 Q_4 及び点 Q_5 を経由して点 Q_3 へと続く部分)を有している。
- [0152] そして、アノード側セパレータ26aにおける冷却流体流路8aの先に述べた上流部分20と先に述べたガス流路7aの中流以降の部分の領域21とが、アノード側隙間10aの第1のルートの一部に対応する領域、及び、第2ルートのうちの燃料ガス排出用マニホールド孔15に近い下流の一部に対応する領域の両方に近接して設けられている。これにより、アノード側隙間10aの第1のルート及び第2ルートの両方を凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。特に、このような構成の場合、反応ガスは長い第2のルートよりも短い第1のルートを回り込み易いため、冷却流体流路8aのうちの最も温度の低い最上流の直線部77aを第1のルートの近くに配置することができるので、第1のルート優先的に水を凝縮させて閉塞することができ、反応ガスの回り込みをより有効に防ぐことができる。
- [0153] なお、カソード側セパレータ26bはアノード側セパレータ26aと同一の構造を有するため、以上説明したアノード側セパレータ26aにおいて得られる効果が、カソード側セパレータ26bでも得られることは明らかである。
- [0154] また、先に述べた第1実施形態の燃料電池10及び燃料電池スタック30と同様に、本実施形態の燃料電池及び燃料電池スタックも、図11～図14に示すように全てのアノード側セパレータ26a及び全てのカソード側セパレータ26bについて、冷却流体流路8a、冷却流体流路8b、燃料ガス流路7a、及び、酸化剤ガス流路7bが、先に述べたように、「それぞれの主要部同士が互いに略平行」となるように設けられている。
- [0155] これにより全てのMEA5について、アノード側セパレータ26aの主面及び全てのカソード側セパレータ26bの主面に平行な面で見た場合の冷却流体流路の上流から下流への全体的な流れ方向(進行方向)と、反応ガス(燃料ガス及び酸化剤ガス)上流から下流への全体的な流れ方向(進行方向)とを極めて容易に略一致させることが

できるようになる。

その結果、反応ガスの流れにおいて水蒸気量の多い下流部分に、冷却流体の流れにおいて温度の高い下流部分が対応するようになるので、反応ガスの流れの下流側において飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)が上昇し、過剰な凝縮水の生成が低減されるようになる。そのため、電極面の含水状態が良好に保つことができ、触媒層2a及び触媒層2bにおけるフラッシングの発生をより確実に抑制することができる。

[0156] また、この場合、反応ガスの流れの上流側において、飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)を低くし、高分子電解質膜1の乾燥をより確実に防止することができる。更に、この場合、反応ガスの流れにおいて反応物の濃度が大きく反応熱の大きい上流部分に、冷却流体の流れにおいて温度の低い上流部分が対応するため、アノード4aの主面の局所間における温度分布のバラツキ及びカソード4bの主面の局所間における温度分布のバラツキを十分に低減できて、燃料電池及びこれを複数積層した燃料電池スタックをより効率的に冷却することができるようになる。

[0157] 次に、以上説明した第2実施形態の燃料電池において得られる効果を、アノード4a及びカソード4bの主面の面積を 100cm^2 に設定して行うシミュレーション結果を用いてより詳しく説明する。なお、ここでは、図11～図14に示したアノード側セパレータ26a及びカソード側セパレータ26bを用いること以外は、先に述べた第1実施形態の燃料電池10について行ったシミュレーションと同様のシミュレーションを行い説明する。

[0158] その結果、ガス流路7aの上流から下流にかけて燃料ガスの露点が増加していることから、熱力学的には、図11におけるガス流路7aの先に述べた「中流以降の部分」うちの好ましい部分である下流の領域21(特に、最下流側に位置する直線部77f)に含まれる水分の含有率の多い反応ガスをアノード側隙間10aに対応する領域で利用すれば当該アノード側隙間10aに対応する領域において水の凝縮を起こさせることができることとなる。

[0159] そして、この燃料電池でも、冷却流体流路8aの上流部分20及びガス流路7aの下流の領域21がアノード側隙間10aに対応する領域に設けられており、冷却流体流路8aの先に述べた上流部分20において最も冷却効果が強いことと、上述の計算結果のとおり当該上流部分20に近接するガス流路7aの下流の領域21において燃料ガス

の露点が最も上昇することから、アノード側隙間10aにおいて容易かつ効果的に凝縮水を生成させることができることがわかる。

[0160] なお、アノード側隙間10a内には電極触媒が存在せず、発電に伴う熱が発生しないことから、アノード側隙間10a内の温度は低い。そのため、この観点からも、アノード側隙間10a内で水が凝縮し易いと考えられる。

[0161] 上記のように水を凝縮させてアノード側隙間10aを閉塞した後は、反応ガスがガス流路7a以外の部分、即ちアノード側隙間10aを流れることがなく、当該反応ガスをアノード4aに確実に供給することができる。

[0162] なお、カソード側セパレータ26bはアノード側セパレータ26aと同一の構造を有するため、以上説明したアノード側セパレータ26aにおいて得られる効果が、カソード側セパレータ26bでも得られることは明らかである。

[0163] 従って、第2実施形態の燃料電池は、反応ガスを効率的に使用でき良好な発電性能を得ることがより確実にできる。

[0164] [第3実施形態]

次に、本発明の燃料電池の第3実施形態について説明する。この第3実施形態の燃料電池及び燃料電池スタック(ともに図示せず)は、図1に示した第1実施形態の燃料電池10におけるアノード側セパレータ及びカソード側セパレータを異なる構成に代えたものであり、アノード側セパレータ及びカソード側セパレータ以外の構成は第1実施形態の燃料電池10及び燃料電池スタック30と同様である。

[0165] 以下、第3実施形態の燃料電池に備えられるアノード側セパレータ及びカソード側セパレータについて説明する。

ここで、図15は、本発明の燃料電池の第3実施形態に備えられるアノード側セパレータ46aの主面を冷却流体流路8a側から見た場合の正面図である。図16は、本発明の第3実施形態の燃料電池に備えられるアノード側セパレータ46aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。図17は、本発明の燃料電池の第3実施形態に備えられるカソード側セパレータ46bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。図18は、本発明の燃料電池の第3実施形態に備えられるカソード側セパレータ46bの主面を冷却流体流路8b側から見た場合の正面図である。

[0166] そして、この燃料電池及び燃料電池スタックの場合、図15～図18に示すように、先に述べた本発明の効果をj得るために、アノード側セパレータ46a及びカソード側セパレータ46bの両方について以下の構成が採用されている。

すなわち、アノード側セパレータ46aでは、アノード側ガスケット9a(図1参照)とMEA5(図1参照)との間に形成されるアノード側隙間10a(図1参照)と、冷却流体流路8aの「上流部分」と、燃料ガス流路7aの「中流以降の部分」(この燃料電池では特に下流以降の部分)との3者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分が設けられている。これにより、アノード側隙間10aを凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

また、カソード側セパレータ46bでは、カソード側ガスケット9bとMEA5との間に形成されるカソード側隙間10b(図1参照)と、冷却流体流路8bの「上流部分」と、酸化剤ガス流路7bの「中流以降の部分」(この燃料電池では特に下流以降の部分)との3者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分が設けられている。これにより、カソード側隙間10bを凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

[0167] なお、図15及び図16に示すアノード側セパレータ46a、並びに、図17及び図18に示すカソード側セパレータ26bにおいて、アノード側セパレータ46aの冷却流体流路8aとカソード側セパレータ26bの冷却流体流路8bとは同一の構造を有する。例えば、図10に示した燃料電池スタック30と同様の状態で積層した場合(同種のマニホールド孔同士が連結するようにして積層した場合)に、冷却流体流路8aと冷却流体流路8bとは略完全に重なり合う状態となる。また、アノード側セパレータ46aのガス流路7aとカソード側セパレータ46bのガス流路7bとは同一の構造を有する。例えば、図10に示した燃料電池スタック30と同様の状態で積層した場合(同種のマニホールド孔同士が連結するようにして積層した場合)に、ガス流路7aとガス流路7bとは略完全に重なり合う状態となる。

そのため、以下の説明では、主としてアノード側セパレータ46aについて説明し、カソード側セパレータ26bについてはアノード側セパレータ46aと重複する説明は省略

する。

[0168] 図15に示すアノード側セパレータ46aにおいて、冷却流体流路8aは、冷却流体供給用マニホールド孔16から2本の冷却流体流路として領域A₁(アノード側隙間10aに対応する領域に含まれる領域)に沿うようにしてアノード4aに対応する部分(電極部、即ち図15中、2つの一点鎖線のうち内側の一点鎖線に囲まれた電極に接触する部分に対応する部分)まで延びている。上記2本の冷却流体流路は、図15の領域A₁のうちの冷却流体供給用マニホールド孔16に最も近い点T₄から燃料ガス供給用マニホールド孔14に最も近い点T₃を経て冷却流体排出用マニホールド孔17に最も近い点T₂に達する側の領域に沿うように設けられている流路77aと、図15の領域A₁のうちの冷却流体供給用マニホールド孔16に最も近い点T₄から燃料ガス排出用マニホールド孔15に最も近い点T₁を経て冷却流体排出用マニホールド孔17に最も近い点T₂に達する側の領域に沿うように設けられている流路77eとからなる。

[0169] より詳しく説明すると、冷却流体供給用マニホールド孔16から延びる流路77aは、水平方向(図15のアノード側セパレータ46aにおいて冷却流体供給用マニホールド孔16及び燃料ガス供給用マニホールド孔14が設けられている部分側の辺に略平行な方向)において、領域A₁に沿うように設けられており(より具体的には、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、領域A₁とほぼ重なる位置に設けられており)、燃料ガス排出用マニホールド孔15近傍の領域A₁における点T₃付近において、直線部77bに接続されている。

[0170] 更に、直線部77bは、垂直方向(図18のアノード側セパレータ46aにおいて燃料ガス供給用マニホールド孔14及び冷却流体排出用マニホールド孔17が設けられている部分側の辺に略平行な方向)において、領域A₁に沿うように設けられており(より具体的には、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、領域A₁とほぼ重なる位置に設けられており)、冷却流体排出用マニホールド孔17近傍において、直線部77cに接続されている。

[0171] また、直線部77cは、垂直方向において、アノード側隙間10aに対応する領域(より具体的には、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、領域A₁とほぼ重なる位置)に設けられており、燃料ガス供給用マニホールド孔14近傍におい

で、水平方向に延びる直線部77dに接続されている。

- [0172] 特に、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、流路77aのうち直線部77b及び直線部77cは、当該直線部77bと当該直線部77cとの間に領域A₁の一部が配置されるように配置されている。
- [0173] 一方、冷却流体供給用マニホールド孔16から延びる流路77eは、垂直方向において、領域A₁に沿うように設けられており(より具体的には、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、領域A₁とほぼ重なる位置に設けられており)、領域A₁における点T₁付近において、直線部77fに接続されている。
- [0174] 直線部77fは、水平方向において、領域A₁に沿うように設けられており(より具体的には、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、領域A₁とほぼ重なる位置に設けられており)、酸化剤ガス排出用マニホールド孔19近傍において、直線部77gに接続されている。
- [0175] 直線部77gは、水平方向において、領域A₁に沿うように設けられており(より具体的には、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、領域A₁とほぼ重なる位置に設けられており)、領域A₁における点T₁付近において、直線部77hに接続されている。
- [0176] また、直線部77hは、垂直方向において、領域A₁に沿うように設けられている(より具体的には、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、領域A₁とほぼ重なる位置に設けられている)。
- [0177] 特に、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、流路77eのうち直線部77f及び直線部77gは、当該直線部77fと当該直線部77gとの間に領域A₁の一部が配置されるように配置されている。更に、アノード側セパレータ46aの主面の法線方向からみた場合、流路77eのうち直線部77m及び直線部77fは、当該直線部77mと当該直線部77fとの間に領域A₁の一部が配置されるように配置されている。
- [0178] 更に、図15に示す冷却流体流路8aは、上述のように冷却流体供給用マニホールド孔16から2本の流路77a及び流路77eとしてのびた後、図18における点Cにおいて流路77aの直線部77d及び流路77eの直線部77hが連結することにより、一本の流路となる構成を有している。アノード側セパレータ46aの主面を有効に利用するため

、冷却流体流路8aは、図18における点Cより下流側においては、水平方向に延びる7本の直線部77i(長い流路)と、隣接する直線部iの端を上流側から下流側へ連結する6個のターン部77j(短い流路)とを有するサーペンタイン構造を有している。

[0179] そして、図15に示すように、冷却流体流路8aの上流のうちの冷却流体供給用マニホールド孔16に近い領域20が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられている。より詳しくは、冷却流体流路8aの上流のうちの、先に述べた「上流部分」である「式: $L1 \leq L2$ を満たす部分」にほぼ相当する領域(即ち、先に述べた上流側の流路77a(直線部77k、直線部77b、直線部77c、及び、直線部77dからなる流路)と、及び、流路77e(直線部77m、直線部77f、直線部77g、及び、直線部77hからなる流路)が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられている

[0180] 図16に示すアノード側セパレータ46aにおいて、ガス流路7aは、以下に示す直線部及びターン部を含む流路がアノード4aに対応する部分(電極部、即ち図16中、2つの一点鎖線のうち内側の一点鎖線に囲まれた電極に接触する部分に対応する部分)に形成された、サーペンタイン構造を有している。

より詳しく説明すると、図16に示すガス流路7aは、燃料ガス供給用マニホールド孔14からアノード側隙間10aを最短距離で交差して、アノード4aに対応する部分(電極部)まで延びている。更に、ガス流路7aは、水平方向(図16のアノード側セパレータ46aにおいて燃料ガス供給用マニホールド孔14及び酸化剤ガス供給用マニホールド孔18が設けられている部分側の辺に略平行な方向)に延びる11本の直線部77a(長い流路)と、隣接する直線部の端を上流側から下流側へ連結する10個のターン部77b(短い流路)とを有している。更に、ガス流路7aは、一端が最下流の直線部77a(後述の直線部77f)の最下流端に接続されており他端が燃料ガス排出用マニホールド孔15に接続される直線部77gを有している。

[0181] ここで、ガス流路7aは、先に述べた「中流以降の部分」うちの好ましい部分(下流部分)に相当する「式: $L3 \leq \{(1/3) \times L4\}$ を満たす部分」にほぼ相当する領域21(即ち、図16中の直線部77gと、直線部77fと、ターン部77dと、直線部77eと、ターン部77hと、直線部77cと、ターン部77iと、直線部77jと、ターン部77kを含む領域)が、アノード側隙間10aに対応する領域に設けられている。更にこの領域21は、先に述

べた図15の冷却流体流路8aの上流のうちの「上流部分」にほぼ相当する領域20に近接して設けられている。

- [0182] 以上のような構成を有する本実施形態の燃料電池及び燃料電池スタックでは、発電により水蒸気をより多く含む反応ガスが、アノード側ガスケット9aと膜電極接合体5との間に形成されるアノード側隙間10a及びカソード側ガスケット9bと膜電極接合体5との間に形成されるカソード側隙間10bのうちの少なくとも一方に流れ込む。一般的にガスの露点が周囲温度を上回ると、当該反応ガスに含まれる水分が凝縮を始める。燃料電池及び燃料電池スタックでは、冷却流体流路8aの上流部分20及び冷却流体流路8bの上流部分20がそれぞれアノード側隙間10aに対応する領域及びカソード側隙間10bに対応する領域に設けられているので、反応ガスに含まれる水蒸気成分が、アノード側隙間10a及びカソード側隙間10bにおいて効果的に冷却され、アノード側隙間10aの少なくとも一部及びカソード側隙間10bの少なくとも一部において凝縮し、アノード側隙間10a及びカソード側隙間10bを凝縮水により閉塞することができる。
- [0183] 上述のようにアノード側隙間10a及びカソード側隙間10bで水が凝縮する結果、閉塞後には反応ガスがガス流路7a、ガス流路7b以外の部分、即ちアノード側隙間10a及びカソード側隙間10bを流れることがなく、当該反応ガスをガス流路7a及びガス流路7bに確実に供給することができる。従って、反応ガスを効率的に使用して発電性能を良好に向上させることが可能となる。
- [0184] また、本実施形態においては、アノード側隙間10aは、燃料ガス供給用マニホールド孔14からの反応ガスが侵入するルートとして、冷却流体流路8aの上流部分20が、アノード側隙間10aの第1のルート(図15において燃料ガス供給用マニホールド孔14に近い点 T_3 から冷却水排出用マニホールドに近い点 T_2 を経て燃料ガス排出用マニホールド孔15に近い点 T_1 付近と続く部分)と、当該第1のルートより長い第2のルート(図15において燃料ガス供給用マニホールド孔14に近い点 T_3 から酸化剤ガス供給用マニホールド18点 T_4 を経て燃料ガス排出用マニホールド孔15に近い点 T_1 へと続く部分)を有している。
- [0185] そして、アノード側セパレータ46aにおける冷却流体流路8aの先に述べた上流部

分20と先に述べたガス流路7aの中流以降の部分の領域21とが、アノード側隙間10aの第1のルートの一部に対応する領域、及び、第2ルートのうちの燃料ガス排出用マニホールド孔15に近い下流の一部に対応する領域の両方に近接して設けられている。これにより、アノード側隙間10aの第1のルート及び第2ルートの両方を凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。特に、このような構成の場合、反応ガスは長い第2のルートよりも短い第1のルートを回り込み易いため、冷却流体流路8aのうちの最も温度の低い最上流の流路77a及び77eの一部を第1のルートの近くに配置することができるので、第1のルート優先的に水を凝縮させて閉塞することができ、反応ガスの回り込みをより有効に防ぐことができる。

[0186] なお、カソード側セパレータ26bはアノード側セパレータ26aと同一の構造を有するため、以上説明したアノード側セパレータ26aにおいて得られる効果が、カソード側セパレータ26bでも得られることは明らかである。

[0187] また、先に述べた第1実施形態の燃料電池10及び燃料電池スタック30と同様に、本実施形態の燃料電池及び燃料電池スタックも、図15～図18に示すように全てのアノード側セパレータ46a及び全てのカソード側セパレータ46bについて、冷却流体流路8a、冷却流体流路8b、燃料ガス流路7a、及び、酸化剤ガス流路7bが、先に述べたように、「それぞれの主要部同士が互いに略平行」となるように設けられている。

[0188] これにより全てのMEA5について、アノード側セパレータ46aの主面及び全てのカソード側セパレータ46bの主面に平行な面で見した場合の冷却流体流路の上流から下流への全体的な流れ方向(進行方向)と、反応ガス(燃料ガス及び酸化剤ガス)上流から下流への全体的な流れ方向(進行方向)とを極めて容易に略一致させることができるようになる。

その結果、反応ガスの流れにおいて水蒸気量の多い下流部分に、冷却流体の流れにおいて温度の高い下流部分が対応するようになるので、反応ガスの流れの下流側において飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)が上昇し、過剰な凝縮水の生成が低減されるようになる。そのため、電極面の含水状態が良好に保つことができ、触媒層2a及び触媒層2bにおけるフラッディングの発生をより確実に抑制することができる。

[0189] また、この場合、反応ガスの流れの上流側において、飽和水蒸気圧($P_{H_2O}^0$)を低くし、高分子電解質膜1の乾燥をより確実に防止することができる。更に、この場合、反応ガスの流れにおいて反応物の濃度が大きく反応熱の大きい上流部分に、冷却流体の流れにおいて温度の低い上流部分が対応するため、アノード4aの主面の局所間における温度分布のバラツキ及びカソード4bの主面の局所間における温度分布のバラツキを十分に低減できて、燃料電池及びこれを複数積層した燃料電池スタックをより効率的に冷却することができるようになる。

[0190] [第4実施形態]

次に、本発明の第4実施形態について説明する。

図19は、本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第4実施形態の基本構成を示す要部概略断面図である。

[0191] 図19に示す第4実施形態の燃料電池スタック30Aは、図1に示した燃料電池10と異なる構成を有する燃料電池10Aを複数搭載していることと図10に示したエンドセパレータ6Cの代わりにエンドセパレータ6dを搭載していること以外は図10に示した第1実施形態の燃料電池スタック30と同様の構成を有している。

[0192] より詳しく説明すると、図19に示す燃料電池10Aは、図1に示した燃料電池10のアノード側セパレータ6aの代わりに、当該アノード側セパレータ6aの冷却流体流路8aを有しないアノード側セパレータ6Aを有すること以外は図1に示した燃料電池10と同様の構成を有している。また、図19に示すエンドセパレータ6dは図10に示したエンドセパレータ6Cの冷却流体流路6Cを有しないこと以外はエンドセパレータ6Cと同様の構成を有している。

[0193] この構成の場合、外部から燃料電池スタック30Aに冷却流体を供給するための供給手段(例えば、冷却流体が冷却水の場合、送水ポンプ)の負荷を低減でき、発電システムのシステム効率を向上させることができる。

[0194] そして、このように、カソード側セパレータ6bのみに冷却流体流路6bを有する燃料電池スタック30Aの場合であっても、先に述べた本発明の効果をを得ることができる。すなわち、燃料電池スタック30Aの場合、1つの冷却流体流路6bにより、当該冷却流体流路6bに近接するアノード側セパレータ6a及びカソード側セパレータ6bの両方

を十分に冷却することができる。

[0195] すなわち、アノード側セパレータ6aでは、アノード側ガスケット9a(図1参照)とMEA5(図1参照)との間に形成されるアノード側隙間10a(図1参照)に対して、冷却流体流路「8b」の「上流部分」と、燃料ガス流路7aの「中流以降の部分」(この燃料電池では特に下流以降の部分)との3者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分が設けられている。これにより、アノード側隙間10aを凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

[0196] また、カソード側セパレータ6bでも、カソード側ガスケット9bとMEA5との間に形成されるカソード側隙間10b(図1参照)と、冷却流体流路「8b」の「上流部分」と、燃料ガス流路7b「中流以降の部分」(この燃料電池では特に下流以降の部分)との3者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分が設けられている。これにより、カソード側隙間10bを凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

[0197] なお、本実施形態と逆の構成を採用しても同様に本発明の効果をを得ることができる。即ち、図1に示した燃料電池10のカソード側セパレータ6bの代わりに、当該カソード側セパレータ6bの冷却流体流路8bを有しないカソード側セパレータ(図示せず)を有する構成を採用しても同様に本発明の効果をを得ることができる。

[0198] [第5実施形態]

次に、本発明の第5実施形態について説明する。

図20は、本発明の燃料電池スタックの第5実施形態の基本構成を示す要部概略断面図である。図21は、図20に示した第5実施形態の燃料電池スタック30Bの構成を有する燃料電池スタックの一例を示す概略断面図である。

[0199] 図20に示す第5実施形態の燃料電池スタック30Bは、図19に示した第4実施形態の燃料電池10Aと異なる構成を有する燃料電池10Bを、2つの燃料電池10Aの間に配置していると以外は図19に示した第4実施形態の燃料電池スタック30Aと同様の構成を有している。

[0200] より詳しく説明すると、図20に示す燃料電池10Bは、図19に示した燃料電池10A

のカソード側セパレータ6bのかわりに、当該カソード側セパレータ6bの冷却流体流路8bを有しないカソード側セパレータ6Bを有すること以外は図19に示した燃料電池10と同様の構成を有している。

[0201] 例えば、図20に示す燃料電池スタック30Bとして、4つのMEA5が積層された構成を採用する場合の具体例としては、図21に示す構成の燃料電池スタック30Cがあげられる。なお、図21に示す燃料電池スタック30は、図20に示す燃料電池スタック30Aにおいて、エンドセパレータ6eから最も遠い上部に配置されている燃料電池10Aの上に、2つめ燃料電池10Bを配置し更に当該燃料電池10B上にエンドセパレータ6eが配置された構成を有する。なお、本実施形態の場合、図21に示すエンドセパレータ6eのアノード側セパレータ6Aの側の主面には、燃料電池スタック30には、カソード側セパレータ6bと同一の冷却流体流路(図示せず)が設けられている。

[0202] 図19に示した燃料電池スタック30Aと同様に、この燃料電池スタック30Bの場合にも、外部から燃料電池スタック30Bに冷却流体を供給するための供給手段(例えば、冷却流体が冷却水の場合、送水ポンプ)の負荷を低減でき、発電システムのシステム効率を向上させることができる。

[0203] そして、このように、冷却流体流路6bを有しない燃料電池10Bを、カソード側セパレータ6bのみに冷却流体流路6bを有する燃料電池10Aの間に配置する場合であっても、先に述べた本発明の効果をを得ることができる。すなわち、燃料電池スタック30Bの場合、隣り合う2つの燃料電池10Aの2つの冷却流体流路6bにより、当該2つの燃料電池10A自体に加えて当該2つの燃料電池10Aの間に配置される燃料電池10Bも十分に冷却することができる。

[0204] なお、本発明の効果が得られる範囲であれば、2つの燃料電池10Aの間に2つ以上の燃料電池10Bからなる積層体を配置してもよい。本発明の効果をより確実に得る観点からは2つ以上の燃料電池10Bからなる積層体中の燃料電池10Bの数は2つが好ましい。

[0205] また、燃料電池10Aのアノード側セパレータ6A上に燃料電池10Bのカソード側セパレータ6Bが配置される場合、これらのアノード側セパレータ6A及びカソード側セパレータ6Bは、一体化された1枚のセパレータとして作製してもよい。

[0206] [第6実施形態]

次に、本発明の第6実施形態について説明する。この第6実施形態の燃料電池スタックは、図21に示した燃料電池10A及び燃料電池スタック30Cにおけるカソード側セパレータ6b、アノード側セパレータ6A、カソード側セパレータ6B及びエンドセパレータ6eを異なる構成に代えたものであり、アノード側セパレータ及びカソード側セパレータ以外の構成は図21に示した燃料電池10A及び燃料電池スタック30Cと同様である。

[0207] 以下、第6実施形態の燃料電池スタックに備えられるカソード側セパレータ6b、アノード側セパレータ6A、カソード側セパレータ6B及びエンドセパレータ6eについて説明する。

[0208] 図22は、本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるカソード側セパレータ6bの主面を冷却流体流路8b側から見た場合の正面図である。図23は、本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるカソード側セパレータ6bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。図24は、本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるアノード側セパレータ6Aの主面をガス流路7a側から見た場合の正面図である。図25は、本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるカソード側セパレータ6Bの主面をガス流路7b側から見た場合の正面図である。図26は、本発明の燃料電池及び燃料電池スタックの第6実施形態に搭載されるアノード側セパレータ6Aの主面をガス流路7aの形成されていない面の側から見た場合の正面図である。

[0209] 第6実施形態の燃料電池スタックに備えられるカソード側セパレータ6bは、図21に示したカソード側セパレータ6bの冷却流体流路8bかわりに、図22に示す構成の複数の冷却流体流路8bを有している。また、第6実施形態の燃料電池スタックに備えられるカソード側セパレータ6bは、図21に示したカソード側セパレータ6bのガス流路7bかわりに、図23に示す構成の複数のガス流路7aを有している。

[0210] 図22に示す冷却流体流路8bは、図15に示した冷却流体流路8aの上流側の合流・分岐点Cまでの構成は同じであり、冷却流体供給用マニホールド16から2本の流路8b1(図15の77aに相当)及び流路8b2(図15の77eに相当)が領域A₁に沿うように

設けられている。また、図22に示す冷却流体流路8bと図15に示した冷却流体流路8aとの相違点は、合流・分岐点C以後において4本の流路(流路8b3、流路8b4、流路8b5及び流路8b6)に分岐していることとである。図15に示した冷却流体流路8aと同様に、図22に示す冷却流体流路8bの上記4本の流路(流路8b3、流路8b4、流路8b5及び流路8b6)は、7本の直線部と、6つのターン部を有している。

[0211] 更に、図22に示すカソード側セパレータ6bでは、冷却流体供給用マニホールド16及び酸化剤ガス供給用マニホールド18の配置位置が図15に示したアノード側セパレータ6aのマニホールド16及びマニホールド18の配置位置と逆になっている。図22に示すカソード側セパレータ6bでは、冷却流体排出用マニホールド17及び酸化剤ガス排出用マニホールド19の配置位置が図15に示したアノード側セパレータ6aのマニホールド17及びマニホールド19の配置位置と逆になっている。

[0212] なお、図15に示した冷却流体流路8aはアノード側セパレータ6aの流路であるが図22に示す冷却流体流路8bは、カソード側セパレータ6bの流路である。

図22に示すカソード側セパレータ6bのうち上述の冷却流体流路8bの形成されている主面の裏面には、酸化剤ガスのためのガス流路7bが形成されている。ガス流路7bは4本の流路(流路7b1、流路7b2、流路7b3、流路7b4)からなり、4本の流路は、それぞれの一端が酸化剤ガス供給用マニホールド18に接続されており、それぞれ他端が酸化剤ガス排出用マニホールド19に接続されている。

[0213] そして、4本の流路は、それぞれ7本の直線部と6つのターン部とを有するサーペンタイン構造を有している。4本の流路は互いに等間隔でほぼ平行に並走するように形成されている。この4本の流路(流路7b1、流路7b2、流路7b3、流路7b4)同士の間隔は、図22に示した冷却流体流路8bにおける4本の流路(流路8b3、流路8b4、流路8b5及び流路8b6)同士の間隔とほぼ等しくされている。また4本の流路(流路7b1、流路7b2、流路7b3、流路7b4)と4本の流路(流路8b3、流路8b4、流路8b5及び流路8b6)とは互いに、先に述べたように、「それぞれの主要部同士が互いに略平行」となるように設けられている。

[0214] なお、カソード側セパレータ6bにおけるガス流路7bと冷却流体流路8bとの概略的な位置関係を示すために、図22においてはガス流路7bを一点鎖線で示し、図23に

においては冷却流体流路8bを一点鎖線で示した。

- [0215] 第6実施形態の燃料電池スタックに備えられるアノード側セパレータ6Aは、図21に示したアノード側セパレータ6Aのガス流路7aのかわりに、図24に示す構成のガス流路7aを有している。このガス流路7aは3本の流路(流路7a1、流路7a2、流路7a3)からなり、3本の流路は、それぞれの一端が燃料ガス供給用マニホールド14に接続されており、それぞれ他端が燃料ガス排出用マニホールド15に接続されている。
- [0216] そして、3本の流路は、それぞれ9本の直線部と8つのターン部とを有するサーペントイン構造を有している。3本の流路は互いに等間隔でほぼ平行に並走するように形成されている。この3本の流路(流路7a1、流路7a2、流路7a3)同士の間隔は、図22に示した冷却流体流路8bにおける4本の流路(流路8b3、流路8b4、流路8b5及び流路8b6)同士の間隔とほぼ等しくされている。また3本の流路(流路7a1、流路7a2、流路7a3)と図22に示した4本の流路(流路8b3、流路8b4、流路8b5及び流路8b6)とは互いに、先に述べたように、「それぞれの主要部同士が互いに略平行」となるように設けられている。
- [0217] なお、アノード側セパレータ6Aにおけるガス流路7aとカソード側セパレータ6Bにおけるガス流路7bとの概略的な位置関係を示すために、図24においてはガス流路7bを一点鎖線で示し、後述する図25においてはガス流路7aを一点鎖線で示した。また、アノード側セパレータ6Aのガス流路7aの形成されていない主面を図26に示す。
- [0218] また、図25に示すように、第6実施形態の燃料電池スタックに備えられるカソード側セパレータ6Bは冷却流体流路を有していないこと以外は、上述の図23に示したカソード側セパレータ6bと同様の構成を有している。すなわち、第6実施形態の燃料電池スタックに備えられるカソード側セパレータ6Bは図23に示したガス流路7bと同一のガス流路(4本の流路)を有している。このガス流路も、図22に示した冷却流体流路8bにおける4本の流路と、「それぞれの主要部同士が互いに略平行」となるように設けられている。
- [0219] また、第6実施形態の燃料電池スタックに備えられるエンドセパレータ6eは、図27に示す冷却流体流路8bを有すること以外は図21に示したエンドセパレータ6eと同様の構成を有する。ここで、第6実施形態の燃料電池スタックに備えられるエンドセパ

レータ6eは、図22に示した第6実施形態の燃料電池スタックに備えられるカソードセパレータ6bに形成されている冷却流体流路8bと同一の冷却流体流路を有している。この図27に示す冷却流体流路8bも図23に示したガス流路7bと、「それぞれの主要部同士が互いに略平行」となるように設けられている。

[0220] 以上の構成を有する第6実施形態の燃料電池スタックにおいては、例えば、燃料電池10Aと燃料電池10Bとが積層されている部分のカソード側セパレータ6b及びアノード側セパレータ6Aにおいて、カソード側ガスケット9bとMEA5との間に形成されるカソード側隙間10bと、アノード側ガスケット9aとMEA5との間に形成されるアノード側隙間10aと、カソード側セパレータ6bの冷却流体流路8bの「上流部分」と、カソード側セパレータ6bの酸化剤ガス流路7bの「中流以降の部分」(この燃料電池では特に下流以降の部分)と、アノード側セパレータ6Aの燃料ガス流路7aの「中流以降の部分」(この燃料電池では特に下流以降の部分)との5者が、先に述べた(I)及び(II)の状態となるように互いに近接して配置される部分(例えば、図23中の領域R3及び領域R4を含む領域)が設けられている。これにより、アノード側セパレータ6A側のカソード側隙間10b及びカソード側セパレータ6bの側のアノード側隙間10aを凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

[0221] また、図27に示したエンドセパレータ6eの冷却流体流路8bにおいても、例えば、図27中の領域R3及び領域R4を含む領域において、アノード側セパレータ6A側のアノード側隙間10aを凝縮水により閉塞させることができる。

[0222] ここで、設計上、セパレータの冷却流体流路は、当該流路に冷却流体を供給するための供給手段(送水ポンプなど)の負荷、供給手段(送水ポンプなど)から複数のセパレータへの各冷却流体流路への冷却水の分配性を考慮して、流路の断面積、直線部の本数、ターン部の数などの条件が決定される。そのため、この第6実施形態のように複数の流路からなる冷却流体流路を設ける場合もある。

[0223] また、セパレータの酸化剤ガス流路は、その裏面にある冷却水の流路との関係よりもむしろ、電解質膜を介して対向配置される別のセパレータのアノードの燃料ガス流路との関係を重視して直線部の本数や、ターン部の数などの条件が設定される場合

がある。これは、燃料ガス流路及び酸化剤ガス流路を設計する際に、高分子電解質膜の機械的損傷・ガス漏れ発生等の不具合を防止する観点から、酸化剤ガスのガス圧と燃料ガスのガス圧の差を十分に低減する必要があること、酸化剤と燃料(還元剤)との化学量論比を考慮する必要があること、酸化剤ガス中の活物質(酸化剤)の濃度及び燃料ガス中の活物質(還元剤)の濃度を考慮する必要があること、などの理由があるからである。そのため、この第6実施形態のように複数の流路からなる反応ガス流路を設ける場合もある。

[0224] 本発明では複数の流路からなる冷却流体流路、複数の流路からなる反応ガス流路を設ける場合であってもカソード側隙間10b及びアノード側隙間10aのうちの少なくとも一方を凝縮水により閉塞させることができるので、従来の燃料電池よりも反応ガスを有効利用することができる。

[0225] 以上、本発明の実施形態について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。また、上述のそれぞれの実施形態において他の実施形態の構成の一部を採用することも可能である。

例えば、水素と酸素との化学量論反応を考慮すると、水素は酸素の2倍体積必要となるが、酸化剤ガスに空気を用いる場合、空気中の酸素濃度は約20体積%であるため、カソードへの空気の流量がアノードへの燃料ガスの流量よりも多くなる。更に、燃料利用率の向上という点からも、燃料ガスの流量を少なくする必要がある。そのため、燃料ガス用のガス流路は、酸化剤ガス用のガス流路よりも蛇行部分が多くかつ長くなって、アノード側のガス流路の長さのアノード側隙間の長さとの差が、カソード側のガス流路の長さのカソード側隙間の長さとの差よりも大きくなるため、反応ガスはカソード側隙間よりもアノード側隙間に流れ易い環境となる。従って、アノード側隙間に対して閉塞させる構造をとることが、より有効である。

[0226] しかし、本発明の思想においては、アノード側セパレータ及びカソード側セパレータのいずれか一方又は両方における冷却流体流路の上流部分を、アノード側隙間及びカソード側隙間に対応する領域に設ければよい。そうすると、アノード側ガスケット及びカソード側ガスケットと膜電極接合体との間に形成されるアノード側隙間及びカソード側隙間に流入する反応ガス中の水蒸気成分が、アノード側隙間及びカソード

側隙間の少なくとも一部において凝縮し、アノード側隙間及びカソード側隙間のいずれかを必ず凝縮水により閉塞させることができる。

[0227] また、アノード側隙間及びカソード側隙間の少なくとも一方が、それぞれ第1のルート及び当該第1のルートより長い第2のルートを有する場合、上述のように、より反応ガスが入り込み易い短い第1のルートに対応する領域に冷却流体流路の上流部分を配置するのが好ましい。しかしながら、上記冷却流体流路の上流部分は、第1のルート及び第2のルートのいずれか一方又は両方に対応する領域に設けてもよい。第2のルートにも反応ガスは流入し得るし、更に第1のルート及び第2のルートの両方の近傍に対応する領域に上記冷却流体流路の上流部分を設ければ、より確実に反応ガスの回り込みを防止することができる。

[0228] また、例えば、ガス流路が複数本の溝からなる場合、複数本の溝間で屈曲方向の数の違いより流路長(行路長)に差が生じる。この場合、複数本の溝のうち、反応ガス供給用マニホールド孔から反応ガス排出用マニホールド孔までの距離が長い方の溝の断面積を、反応ガス供給用マニホールド孔から反応ガス排出用マニホールド孔までの距離が短い方の溝の断面積よりも大きくするのが好ましい。この構成によれば、流路長の異なる溝間における圧損差をなくすことができ、反応ガスの流れを安定させることができる。

[0229] また、上流側のガス流路と下流側のガス流路とが隣接する領域においては、ガス流路間の幅(即ちリブ部の幅)を太くすることが好ましい。これにより、上流側のガス流路から下流側のガス流路へと反応ガスが直接流れ込むことを防止することができる。

また、燃料ガスと酸化剤ガスとのクロスリークを防止するとともに、両者がガス流路の部分を通ることを有効に防止するという観点から、アノード側セパレータ6aにおいては、図3に示すように燃料ガス供給用マニホールド孔14の位置と燃料ガス排出用マニホールド孔15の位置とを離し、カソード側セパレータ6bにおいては、図4に示すように酸化剤ガス供給用マニホールド孔18の位置と酸化剤ガス排出用マニホールド孔19の位置とを離しておくのが好ましい。仮にマニホールド孔同士を近接させる場合には、マニホールド孔近辺において当該マニホールド孔に連通するガス流路間のリブ部の幅を厚めに設定するのが好ましい。

[0230] 本発明においては、アノード側セパレータにおける冷却流体流路の構成と、カソード側セパレータにおける冷却流体流路の構成とを互いに入れかえてもよく、両者の構成を同じ構成としても構わない。また、上記の直線部の数及びターン部の数も特に限定されるものではなく、本発明の効果を損なわない範囲で適宜設定することが可能である。

加えて、アノード側セパレータ及びカソード側セパレータにおけるガス流路の形状も、上記実施の形態に限定されず、本発明の効果を損なわない範囲で、反応ガス供給用マニホールド孔と反応ガス排出用マニホールド孔とを連通する従来と同様の構成を採用することができる。

[0231] また、冷却流体流路は、アノード側セパレータ及びカソード側セパレータのうちの少なくとも一方に設ければよく、必ずしも両方に設ける必要はない。特に、単電池を複数積層する場合には、単電池2個毎に1つの冷却流体流路を形成してもよい。この場合、例えばアノード側セパレータの一方の面に燃料ガス用のガス流路を形成するとともに、他方の面に冷却流体流路を形成し、カソード側セパレータの一方の面に酸化剤ガス用のガス流路を形成するとともに、他方の面は平面状としておいてもよい。

[0232] また、例えば、上述の各実施形態においては、図1に示したように、ガス拡散電極として触媒層とガス拡散層を含む構成の電極を搭載する場合について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。本発明の燃料電池は、例えば、図1におけるアノードガス拡散層3aとアノード触媒層2aとの間に、撥水性高分子とカーボン粉末とで構成される撥水カーボン層を設けた構成のアノードを搭載していてもよい。また、本発明の燃料電池は、例えば、図1におけるカソードガス拡散層3bとカソード触媒層2bとの間に、撥水性高分子とカーボン粉末とで構成される撥水カーボン層を設けた構成のカソードを搭載していてもよい。撥水カーボン層を設けることにより、膜電極接合体における水管理(膜電極接合体の良好な特性維持に必要な水の保持、及び、不必要な水の迅速な排水)をより容易かつより確実に行うことができる。

[0233] 更に、上述の各実施形態においては、例えば、図1に示した燃料電池10のように、ガス流路7aはアノード側セパレータ6aの主面設けられた溝からなる構成のものが採用されているが、ガス流路7aはアノード側セパレータ6aとは別に設けることもできる。

例えば、板状のセパレータの主面上に、セパレータよりも小さな板を複数並べることにより溝を画成した構成を採用してもよい。なお、この構成の変更はカソードのガス流路7bについても同様に採用可能である。

[0234] また、上述の各実施形態においては、図1に示したように、アノード側ガスケット9aとカソード側ガスケット9bとの間に高分子電解質膜1のはみ出し部Pが配置され、アノード側ガスケット9aとカソード側ガスケット9bとは直接接合されていない構成について説明したが、本発明の燃料電池の構成はこれに限定されるものではない。例えば、本発明の燃料電池では、図28に示すように、高分子電解質膜1のはみ出し部Pの外側でアノード側ガスケット9aの一部とカソード側ガスケット9bの一部とが直接接合する構成を採用してもよい。

[0235] 更に、本発明の燃料電池においては、高分子電解質膜1の周縁部(高分子電解質膜1のはみ出し部P)の機械的強度を向上させる観点から、高分子電解質膜1の周縁部のうちのアノード側の主面上及びカソード側の主面上のうちの少なくとも一方に、リング状の膜補強部材を配置する構成を採用してもよい。膜補強部材は薄膜上の部材で高分子電解質膜1に密着して配置されるものである。

[0236] 例えば、高分子電解質膜1の周縁部(例えば、高分子電解質膜1のはみ出し部P)のアノード側の主面上に膜補強部材を設ける構成としては、例えば、図29に示す燃料電池の構成と図30に示す燃料電池の構成が挙げられる。

図29及び図30に示す燃料電池(要部のみ図示する)は、高分子電解質膜1のはみ出し部Pのアノード側の面に膜補強部材12を配置すること以外は図1に示した燃料電池10と同様の構成を有する。

[0237] より詳しくは、図29に示す燃料電池の場合、膜補強部材12の外縁部がアノード側ガスケット9a1と高分子電解質膜1のはみ出し部Pとの間に挿入されており、膜補強部材12の内縁部は触媒層2aに接触している。そして、図29に示す燃料電池の場合、更に、アノード側ガスケット9a1の外縁部と高分子電解質膜1のはみ出し部Pの外縁部は一部直接接合されている。また、図29に示す燃料電池に比較して、図30に示す燃料電池の場合、アノード側ガスケット9a1と高分子電解質膜1のはみ出し部Pとの間に膜補強部材12の外縁部がのびて配置されおり、アノード側ガスケット9a1の外

縁部と高分子電解質膜1のはみ出し部Pは直接接合していない構成を有している。

[0238] 図29及び図30に示した燃料電池の場合、アノード側隙間10aは、膜補強部材12、アノード側ガスケット9a、アノード側セパレータ6a及びアノード4aの端面(ガス拡散層3aの端面)を含んで画成される空間からなることとなる。

[0239] また、図29に示した構成では、膜補強部材12の外縁部がアノード側ガスケット9a1と高分子電解質膜1のはみ出し部Pとの間に挿入されている場合について説明したが、膜補強部材12を設ける場合の構成は、この構成に限定されない。

[0240] 例えば、図29において、膜補強部材12の外縁部がアノード側ガスケット9a1と高分子電解質膜1のはみ出し部Pとの間に挿入されず、膜補強部材12の外縁部とアノード側ガスケット9a1とが接触せずに、膜補強部材12の外縁部とアノード側ガスケット9a1との間に隙間が存在していてもよい。この場合、高分子電解質膜1のはみ出し部Pの一部が膜補強部材12の外縁部とアノード側ガスケット9a1との間にできる上記隙間で露出することとなる。

[0241] この場合、アノード側隙間10aは、膜補強部材12、高分子電解質膜1のはみ出し部Pの露出している主面の部分、アノード側ガスケット9a、アノード側セパレータ6a及びアノード4aの端面(ガス拡散層3aの端面)を含んで画成される空間からなることとなる。

[0242] なお、この図29に示した構成は高分子電解質膜1のはみ出し部Pのカソード4bの側の面においても同様に採用可能である。また、図30に示した構成も高分子電解質膜1のはみ出し部Pのカソード4bの側の面においても同様に採用可能である。

[0243] なお、図29に示した膜補強部材12及び図30に示した膜補強部材12Aを設ける場合、膜補強部材12及び膜補強部材12Aを構成する構成材料は、化学的安定性および機械的安定性などの耐久性の観点から、ポリエチレンナフタレート、ポリテトラフルオロエチレン、フルオロエチレン-プロピレン共重合体、テトラフルオロエチレン-パーフルオロアルコキシエチレン共重合体、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリエーテルアミド、ポリエーテルイミド、ポリエーテルエーテルケトン、ポリエーテルスルホン、ポリフェニレンスルフィド、ポリアリレート、ポリスルフィド、ポリイミド、及び、ポリイミドアミドからなる群より選択される少なくとも1種の合成樹脂であることが好ましい。

実施例

[0244] 以下に、実施例を用いて本発明をより詳細に説明するが、本発明は、これらのみに限定されるものではない。

[0245] (実施例1)

本実施例においては、以下の構成の違い[1]及び[2]を除いて、先に述べた本発明の第6実施形態の燃料電池スタックと同一の構成を有する燃料電池スタックを作製した。より具体的には、図21に記載の燃料電池スタック30Cのように、MEAを4つ積層した構成を有し、図22から図27に示した複数の流路からなる反応ガス流路と複数の冷却流体流路とを有するセパレータを備えた燃料電池(4セルスタック)を作製した。

[0246] [1]図22及び図27に示した合流・分岐点C以降の流路の本数が8本の冷却流路を有するカソード側セパレータ6b及びエンドセパレータ6eを使用した。[2]図20及び図21に示したカソード側セパレータ6bにおけるカソードガス流路7b及びカソード側セパレータ6Bにおけるカソードガス流路7bの本数をそれぞれ7本とした。

なおアノード側セパレータのガス流路としては図24に示した3本のガス流路7aと同様の3本の流路を形成した。

[0247] また、MEAとしては、図1に示した構成を有する株式会社ゴア製の「PRIMEA(商品名)」を4つ用意し、ホットプレスにより、図1に示した構成となるように高分子電解質膜の外周部にガスケットを接合した。

[0248] ついで、先に説明した構造を有するアノード側セパレータ、カソード側セパレータ、エンドセパレータを4つのMEAの間に配置し、図21に示した燃料電池スタック30Cと同様の4セルスタックを得た。4セルスタックの両端にそれぞれ集電板および絶縁板を重ね合わせ、得られた積層体を一对のエンドプレートの上に配置し、バネおよび締結具を用いて積層体を一对のエンドプレートの上に固定することにより本実施例の燃料電池を得た。

[0249] なお、アノード側セパレータ及びカソード側セパレータは、上記MEAの大きさに合わせた導電性の平板の一方の主面にガス流路を切削加工により形成し、更に冷却流体流路を設ける場合には、ガス流路を形成した主面の裏面に冷却流体流路を切

削加工により形成する方法により作成した。なお、この実施例の場合、図22及び図27における領域 R_3 における $(100 \times L3/L4)$ は約16%～約25%であり、領域 R_4 における $(100 \times L3/L4)$ は約5%～約25%であると考えられる。

[0250] (比較例1)

実施例1の4セルスタックと比較し、アノード側隙間及びカソード側隙間のうちの少なくとも一方と、冷却流体流路の上流部分と、反応ガス流路の中流以降の部分と、が近接しない構成を有すること以外は実施例1と同様の構成を有する4セルスタックを作成した。

[0251] 具体的には、図31に示す冷却流体流路(4本の流路)と類似のサーペンタイン構造を有する冷却流体流路(7本の流路)を形成したカソード側セパレータ及びエンドセパレータを使用したことと、図33に示す冷却流体流路(4本の流路、図31に示す冷却流体流路と同一の構造のもの)と類似のサーペンタイン構造を有する冷却流体流路(7本の流路)を形成したエンドセパレータを使用したこと以外は、実施例1と同様の構成を有する4セルスタックを作成した。なお、図31及び図33では説明の便宜上(図示の都合上)4本の流路からなる冷却流体流路を示したが、この比較例1では、7本の流路の流路からなる冷却流体流路を使用した。

[0252] また、比較例1における冷却流体流路とカソード反応ガスの反応ガス流路との位置関係の概略を説明するために、図32に比較例1に使用したカソード側セパレータの酸化剤ガスのガス流路(7本)と類似のサーペンタイン構造を有するガス流路(4本の流路)を示す。なお、図32では説明の便宜上(図示の都合上)4本の流路からなるガス流路(カソード側セパレータ)を示したが、この比較例1では、7本の流路からなるガス流路を使用した。

[0253] 図31～図33から明らかなように、比較例1においては、冷却流体流路と酸化剤ガスのガス流路は、それぞれの一端が矩形のセパレータの主面の1つの角部に互いに近接して配置された冷却流体供給用マニホールド160と酸化剤ガス供給用マニホールド180とに接続され、それぞれの他端がセパレータの主面の上記角部の対角線上にある角部に互いに近接して配置された冷却流体排出用マニホールド170と酸化剤ガス排出用マニホールド190に接続されている。そして、冷却流体流路と酸化剤ガス

のガス流路は、セパレータの主面内で常に互いに平行かつ並走する状態となっている。更に、7本の冷却流体流路のうち両端にある2本の流路のうちの何れかがカソード隙間に対応する領域又はアノード隙間に対応する領域の近傍に沿うように上流から下流にかけて形成されている。また、7本のガス流路のうち両端にある2本の流路のうちの何れかがカソード隙間に対応する領域又はアノード隙間に対応する領域の近傍に沿うように上流から下流にかけて形成されている。そのため、比較例1においては、冷却流体流路と酸化剤ガスのガス流路は、互いの上流部同士、互いの中流部同士、互いの下流部同士がそれぞれ近接して配置された構成となっている。

なおアノード側セパレータのガス流路としては図24に示した3本のガス流路7aと同様の3本の流路を形成した。

[0254] [評価試験]

実施例1の燃料電池スタック(4セルスタック)及び比較例1の燃料電池スタック(4セルスタック)を用い、以下の作動条件で限界燃料ガス利用率を測定した。結果を表1に示す。

[0255] なお、この評価試験においては、実施例1の燃料電池スタック及び比較例1の燃料電池スタックのそれぞれを構成する単電池ごとに限界燃料ガス利用率を求め、相加平均を算出してこれを限界燃料ガス利用率とした。また、「限界燃料ガス利用率」とは、燃料電池が電圧降下を起こさずに安定して発電できる最大の燃料利用率をいう。

- [0256] ・燃料電池の作動温度:62℃
・燃料ガス(H_2)利用率:70~95%
・酸化剤ガス(O_2)利用率:45%固定
・冷却水温度(入口):61℃
・冷却水温度(出口):63℃
・燃料ガス及び酸化剤ガス加湿温度:64℃

[0257] [表1]

	限界燃料ガス利用率 (%)
実施例 1	9 5
比較例 1	9 0

[0258] 実施例1においては、燃料ガス利用率を95%にしても、4つの単電池すべてにおいて電圧降下が起こらなかった。一方、比較例1においては、燃料利用率が90%を超えると電圧降下が始まった。例えば、実施例1では安定した発電が可能であった95%においては、4つの単電池すべてにおいて5～30mVの電圧低下が起こった。

表1に示した結果から明らかなように、本発明の燃料電池及び燃料電池スタックは、高い限界燃料ガス利用率を有し、十分な発電性能を発揮することが確認された。

産業上の利用可能性

[0259] 本発明の固体高分子型燃料電池は、反応ガスの利用効率低下を抑制し、高分子型固体電解質膜を用いた燃料電池、特に定置型コジェネレーションシステムや電気自動車等に応用できる。

請求の範囲

- [1] アノード及びカソード並びに前記アノードと前記カソードとの間に配置される高分子電解質膜を有する膜電極接合体と、
- 前記膜電極接合体を挟持するようにして互いに対向配置されているアノード側セパレータ及びカソード側セパレータと、
- 前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータのうちの少なくとも一方に設けられており、前記膜電極接合体を冷却するための冷却流体を供給、排出するための冷却流体流路と、
- 前記アノード側セパレータに設けられており、前記膜電極接合体に反応ガスとしての燃料ガスを供給、排出するための燃料ガス流路と、
- 前記カソード側セパレータに設けられており、前記膜電極接合体に反応ガスとしての酸化剤ガスを供給、排出するための酸化剤ガス流路と、
- 前記アノード側セパレータの前記膜電極接合体側の主面のうちの、前記膜電極接合体の外側の部分に配置されており、前記反応ガスをシールするためのアノード側ガスケットと、
- 前記カソード側セパレータの前記膜電極接合体側の主面のうちの、前記膜電極接合体の外側の部分に前記アノード側ガスケットに対向するように配置されており、前記反応ガスをシールするためのカソード側ガスケットと、
- を少なくとも具備しており、
- 前記冷却流体流路、前記燃料ガス流路、及び、前記酸化剤ガス流路は、それぞれの主要部同士が互いに略平行となるように設けられており、
- 前記アノード側ガスケットと前記膜電極接合体との間に形成されるアノード側隙間に流入する前記反応ガス中の水蒸気成分及び前記カソード側ガスケットと前記膜電極接合体との間に形成されるカソード側隙間に流入する前記反応ガス中の水蒸気成分が、前記アノード側隙間及び前記カソード側隙間のうちの少なくとも一部において凝縮し、前記アノード側隙間及び前記カソード側隙間の少なくとも一方が凝縮水により閉塞するように、前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータのうちの少なくとも一方における前記冷却流体流路の上流部分が、前記アノード側隙間に対

応する領域及び前記カソード側隙間に対応する領域のうちの少なくとも一方を含むように設けられており、かつ、前記冷却流体流路の前記上流部分は、前記燃料ガス流路及び前記酸化剤ガス流路のうちの少なくとも一方のガス流路の中流以降の部分に対応する領域を含むように設けられていること、
を特徴とする燃料電池。

- [2] 前記高分子電解質膜の主面の大きさが、前記アノードの主面の大きさ及び前記カソードの主面の大きさのいずれよりも大きく、かつ、前記高分子電解質膜の主面の全外縁部が前記アノードの主面の外縁部及び前記カソードの主面の外縁部のいずれよりも外側に突出しており、

前記アノード側ガスケット及び前記カソード側ガスケットが、前記アノード側セパレータと前記カソード側セパレータとの間において、互いに対向して前記高分子電解質膜の前記全外縁部を挟持するようにして配置されており、

前記アノード側隙間が、少なくとも前記高分子電解質膜、前記アノード側ガスケット、前記アノード側セパレータ及び前記アノードの端面を含む空間からなり、

前記カソード側隙間が、少なくとも前記高分子電解質膜、前記カソード側ガスケット、前記カソード側セパレータ及び前記カソードの端面を含む空間からなること、
を特徴とする請求項1に記載の燃料電池。

- [3] 前記アノード側隙間に流入する前記反応ガス中の水蒸気成分が、前記アノード側隙間の少なくとも一部において凝縮し、前記アノード側隙間が凝縮水により閉塞するように、前記アノード側セパレータにおける前記冷却流体流路の上流部分が、前記アノード側隙間に対応する領域に設けられていること、
を特徴とする請求項1に記載の燃料電池。

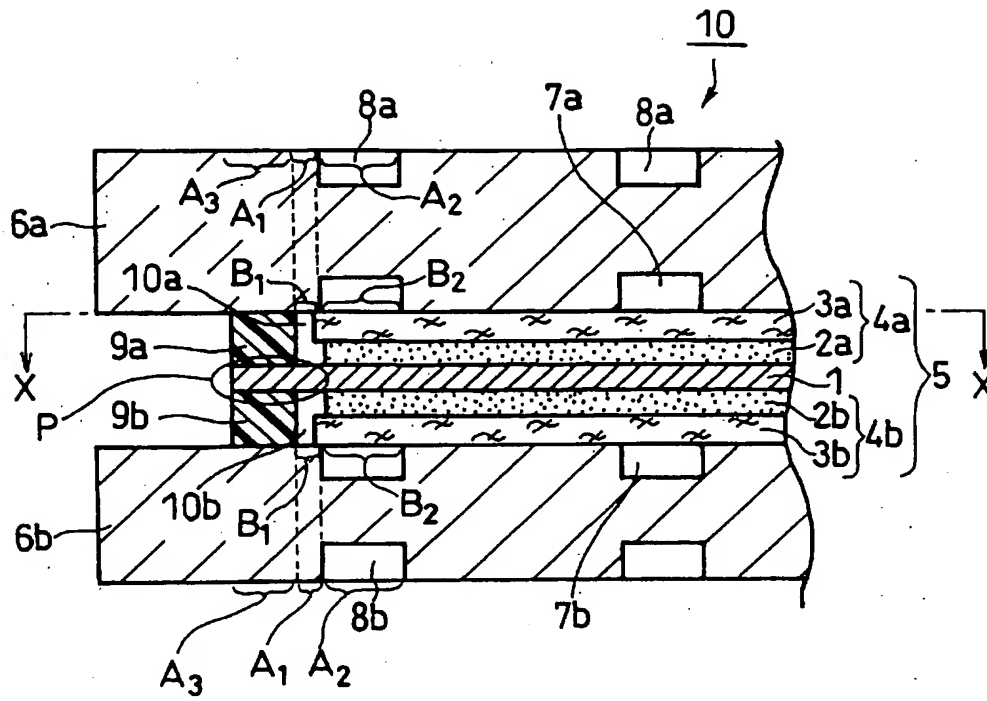
- [4] 前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータの両方における前記冷却流体流路の上流部分が、前記アノード側隙間に対応する領域及び前記カソード側隙間に対応する領域のうちの少なくとも一方を含むように設けられており、かつ、前記冷却流体流路の前記上流部分は、前記燃料ガス流路及び前記酸化剤ガス流路のうちの少なくとも一方のガス流路の中流以降の部分に対応する領域を含むように設けられていること、

を特徴とする請求項1に記載の燃料電池。

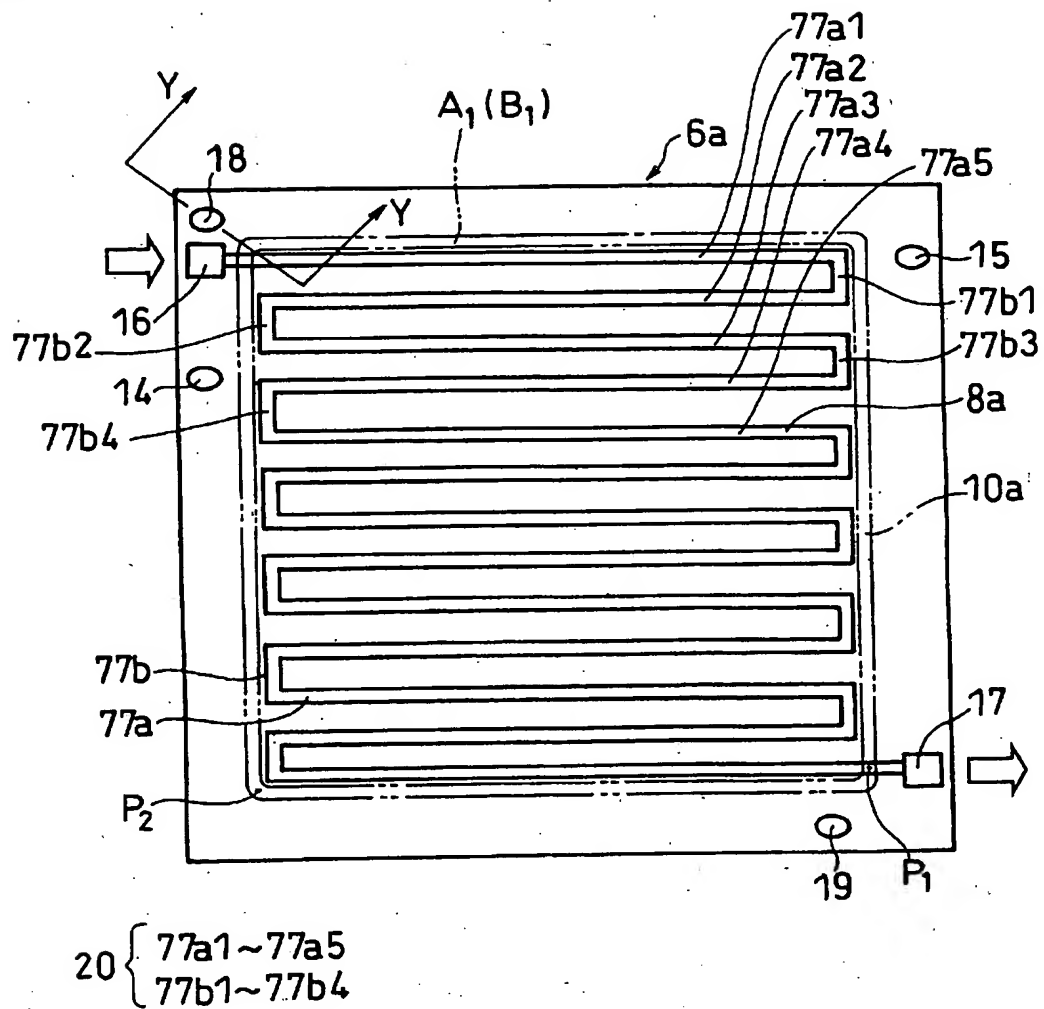
- [5] 前記アノード側ガスケット及び前記カソード側ガスケットが連続環状体であり、
前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータにおいて、前記冷却流体流路に連通する冷却流体供給用マニホールド孔及び冷却流体排出用マニホールド孔が、それぞれ前記アノード側ガスケット及び前記カソード側ガスケットの外側に設けられ、
前記アノード側隙間及び前記カソード側隙間が、それぞれ第1のルート及び前記第1のルートより長い第2のルートを有すること、
を特徴とする請求項1に記載の燃料電池。
- [6] 前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータの少なくとも一方における前記冷却流体流路の上流部分が、前記アノード側隙間及び前記カソード側隙間の前記第1のルートに対応する領域に設けられていること、
を特徴とする請求項5に記載の燃料電池。
- [7] 前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータの少なくとも一方における前記冷却流体流路の上流部分が、前記アノード側隙間及び前記カソード側隙間の前記第2のルートに対応する領域に設けられていること、
を特徴とする請求項5に記載の燃料電池。
- [8] 前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータのうちの少なくとも一方における前記冷却流体流路の上流部分と、前記ガス流路の下流部分とが、対応するように構成されていること、を特徴とする請求項1に記載の燃料電池。
- [9] 前記アノード側セパレータ及び前記カソード側セパレータのうちの少なくとも一方において、前記冷却流体流路の内部領域を流れる前記冷却流体の上流から下流への流れ方向と、前記ガス流路の内部領域を流れる前記反応ガスの上流から下流への流れ方向とが、略一致するように構成されていること、を特徴とする請求項1に記載の燃料電池。
- [10] 前記冷却流体流路がサーペンタイン構造を有しており、前記燃料ガス流路がサーペンタイン構造を有しており、かつ、前記酸化剤ガス流路がサーペンタイン構造を有していること、を特徴とする請求項1に記載の燃料電池。

- [11] 複数の燃料電池が積層された構成を有する燃料電池スタックであって、
前記燃料電池として請求項1に記載の燃料電池が少なくとも一つ搭載されているこ
と、
を特徴とする燃料電池スタック。

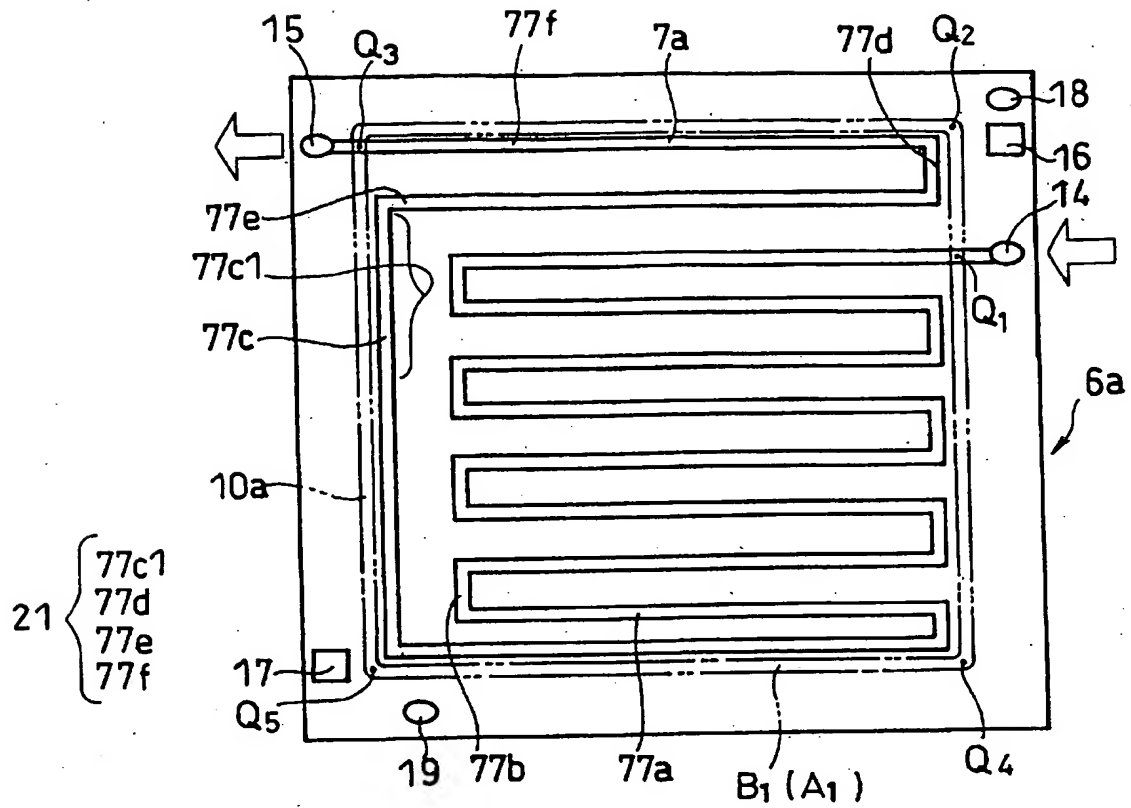
[図1]



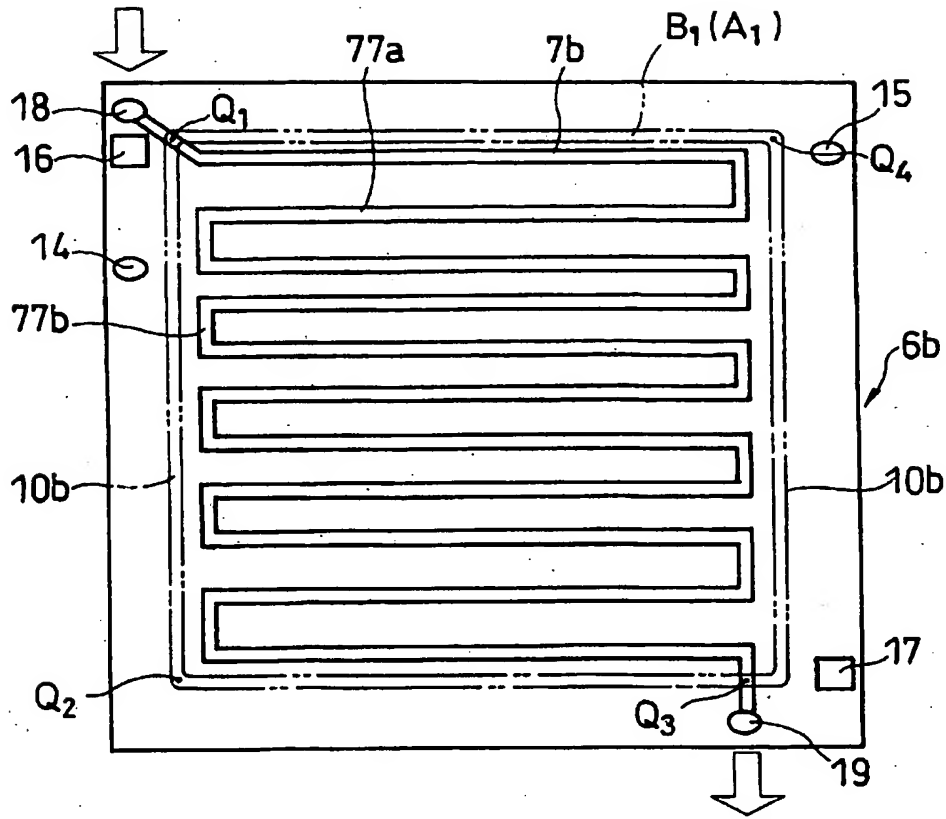
[図2]



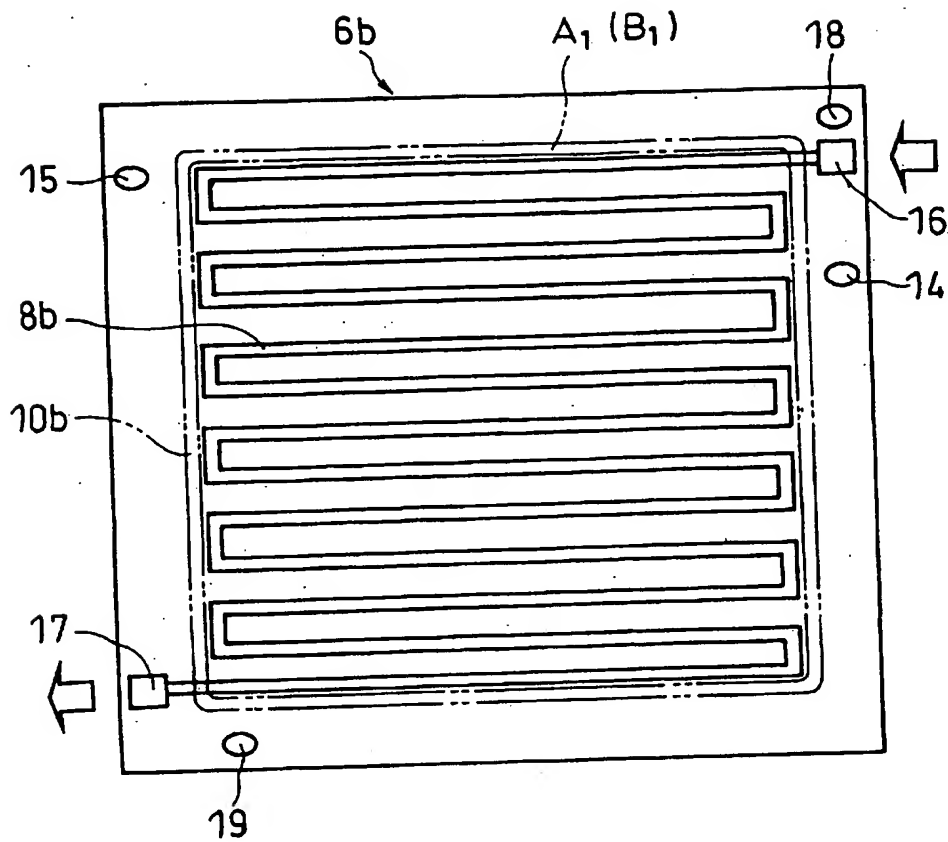
[図3]



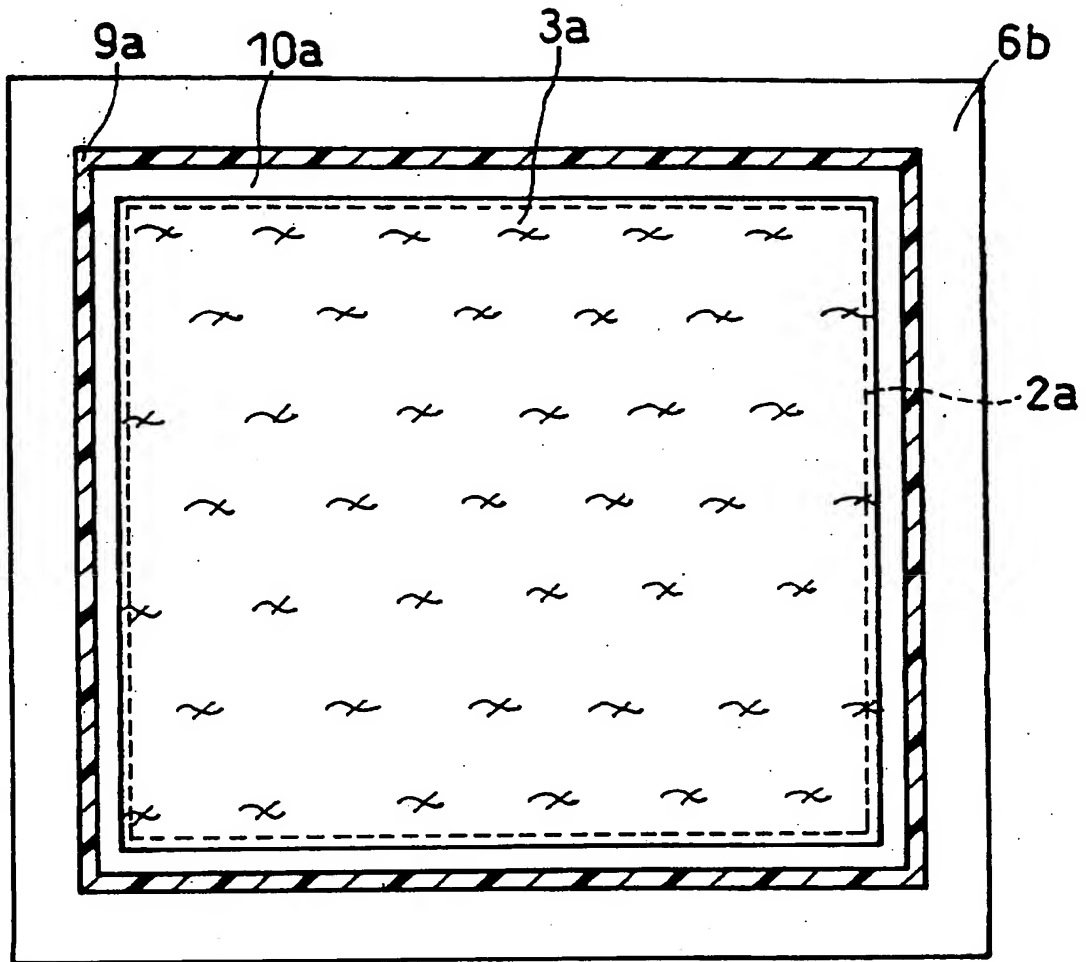
[図4]



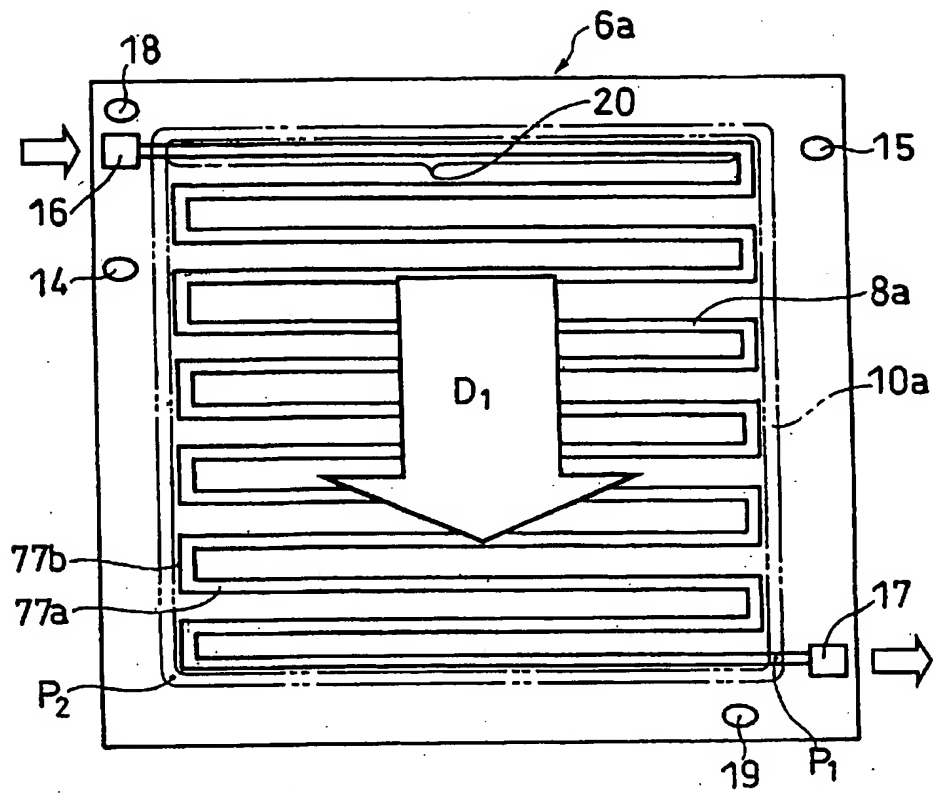
[図5]



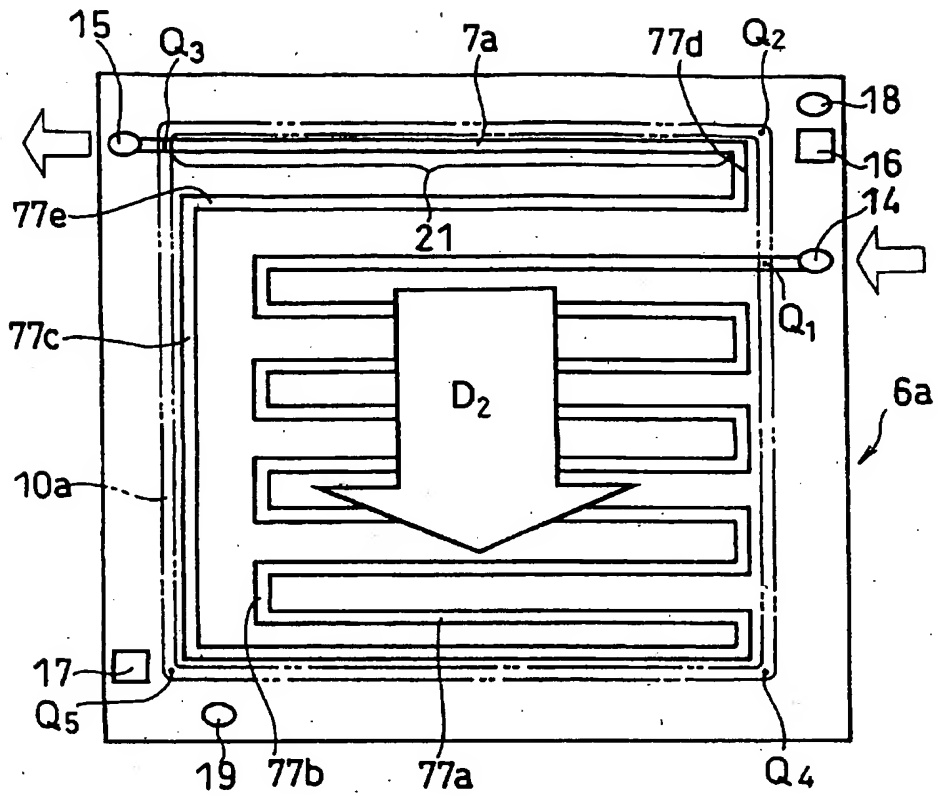
[図6]



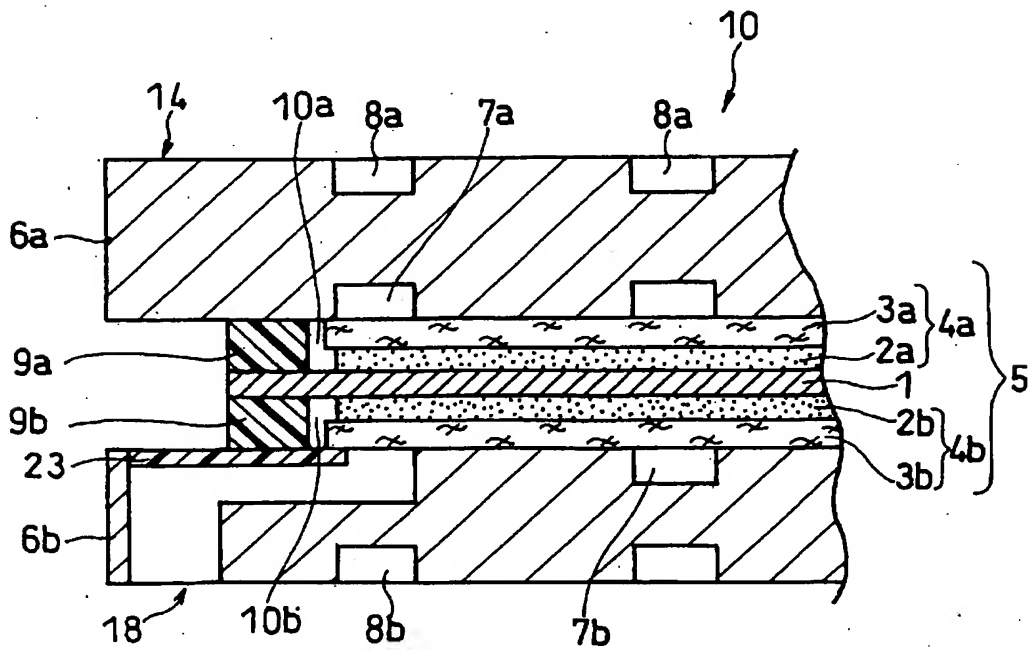
[図7]



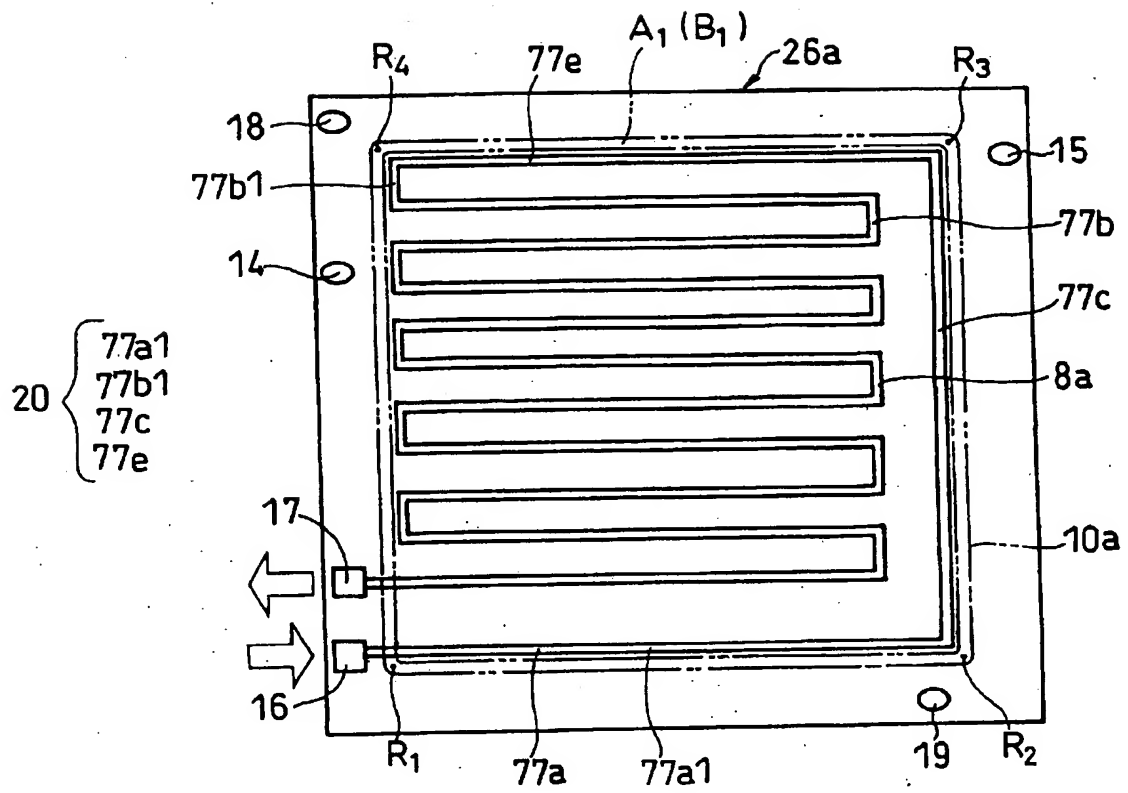
[図8]



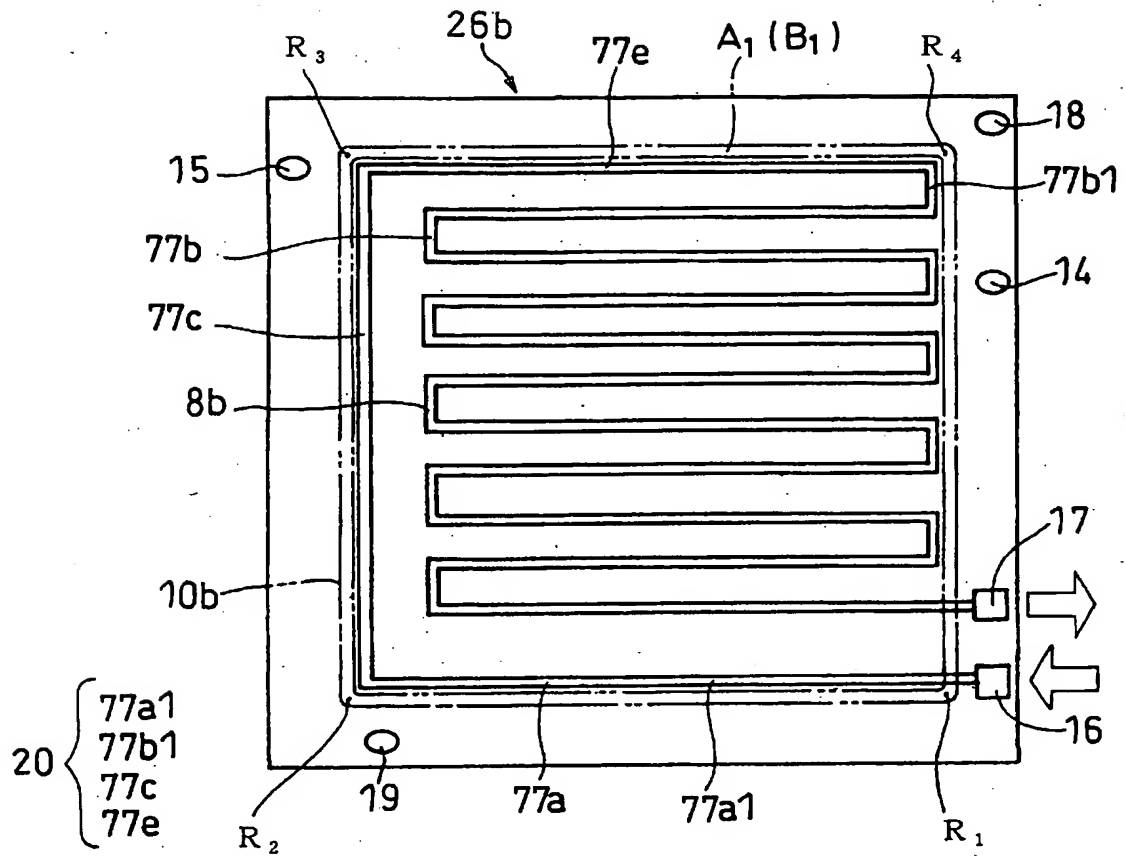
[図9]



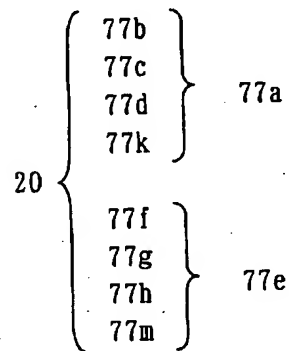
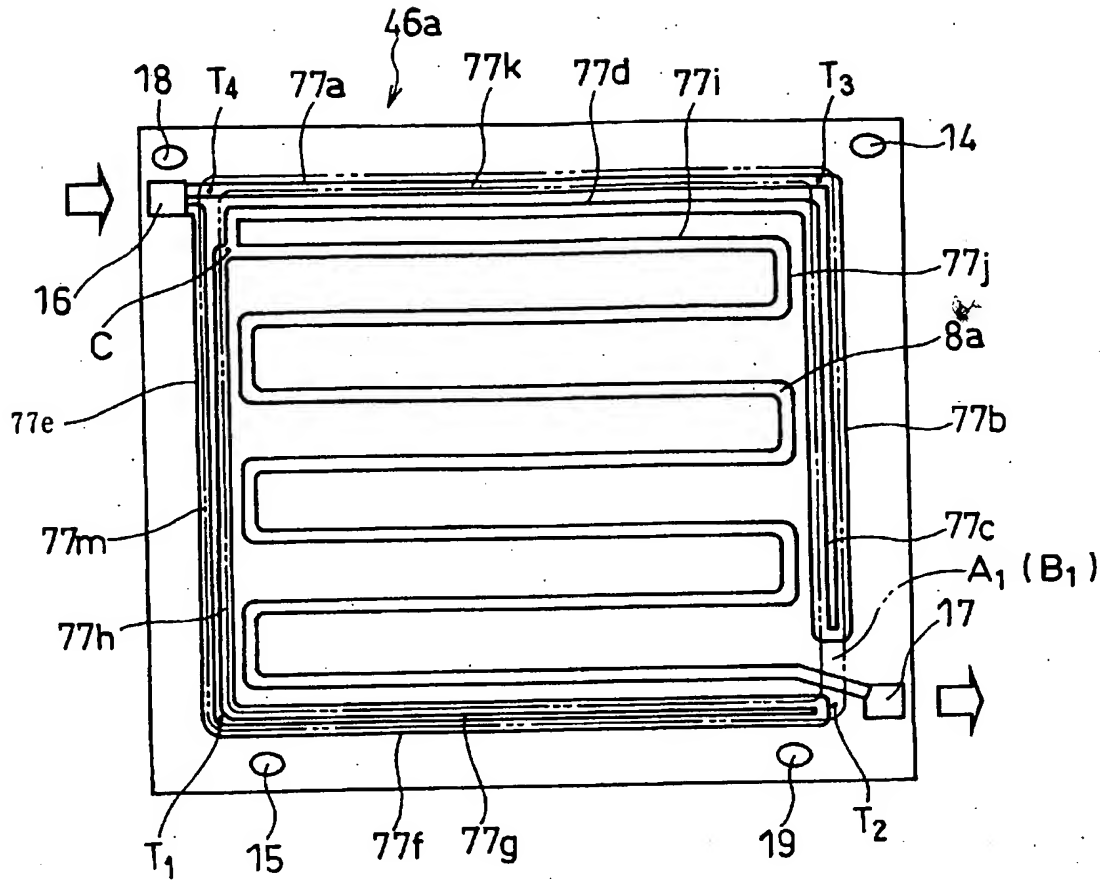
[図11]



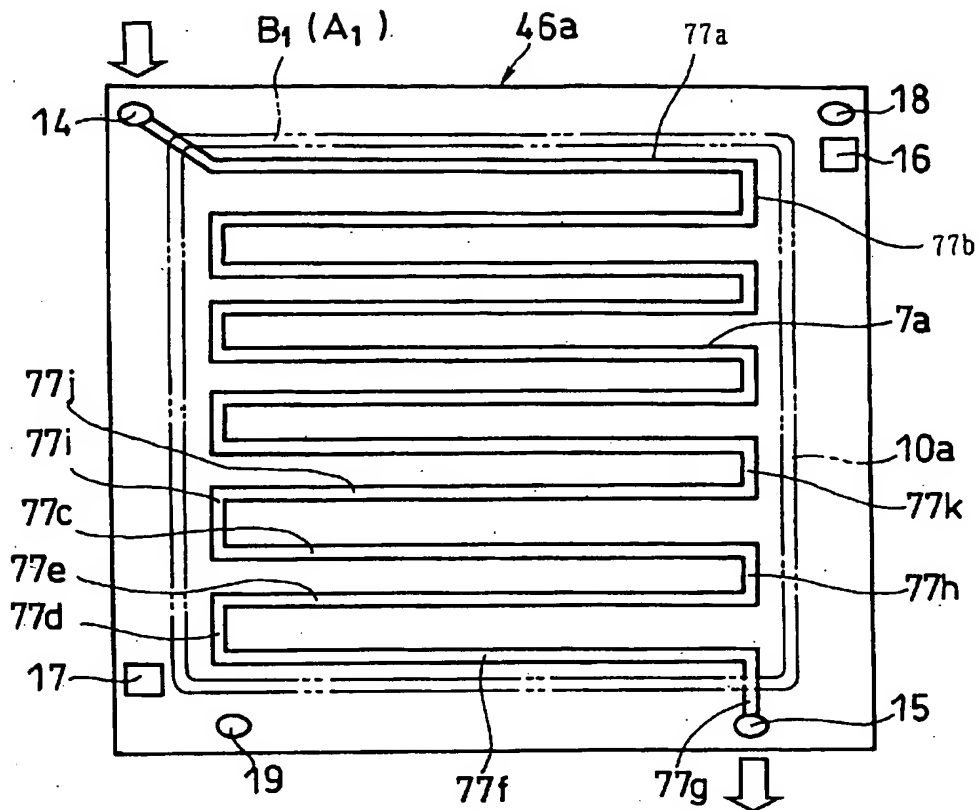
[図14]



[図15]

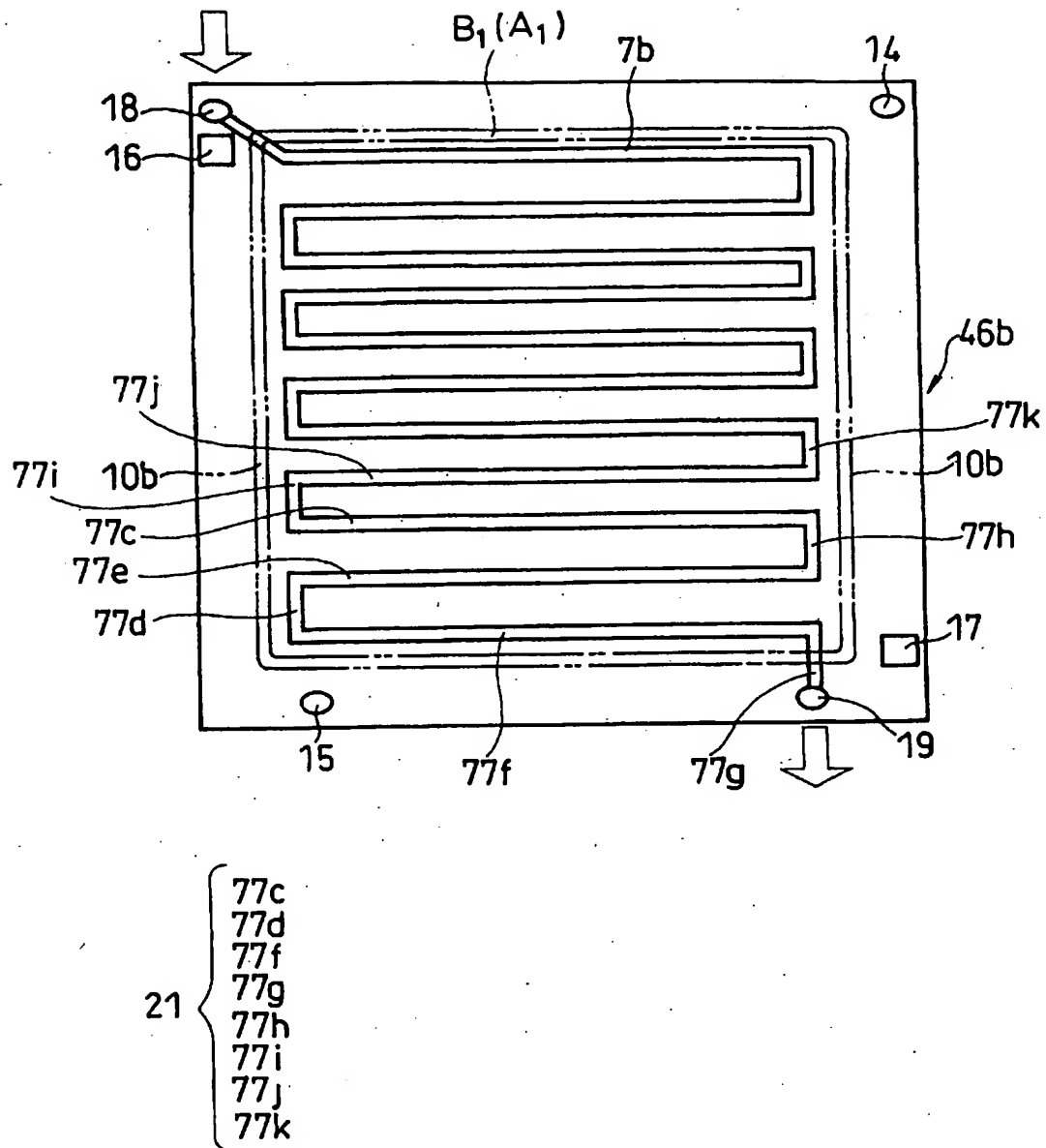


[図16]

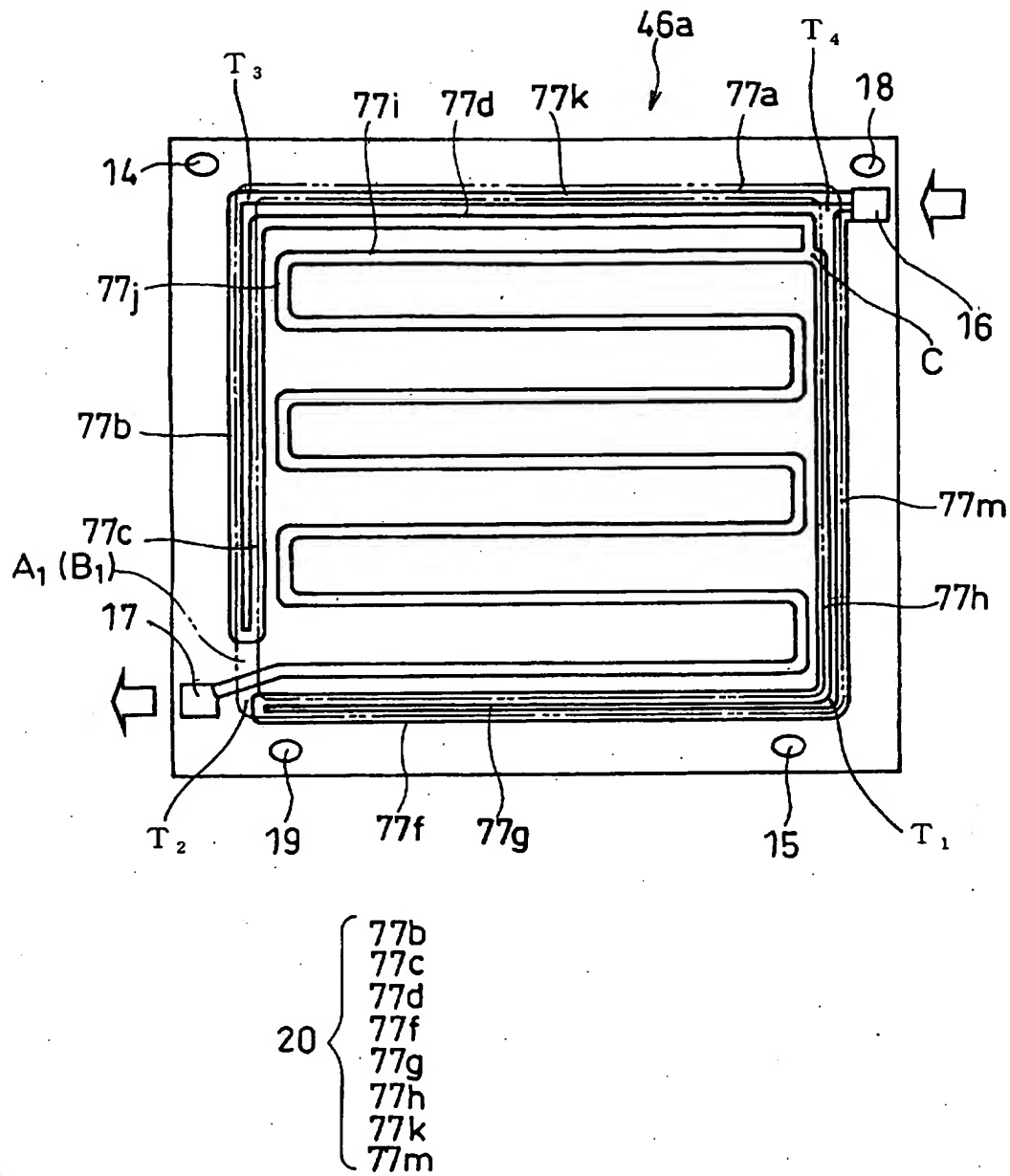


21 {
 77c
 77d
 77f
 77g
 77h
 77i
 77j
 77k

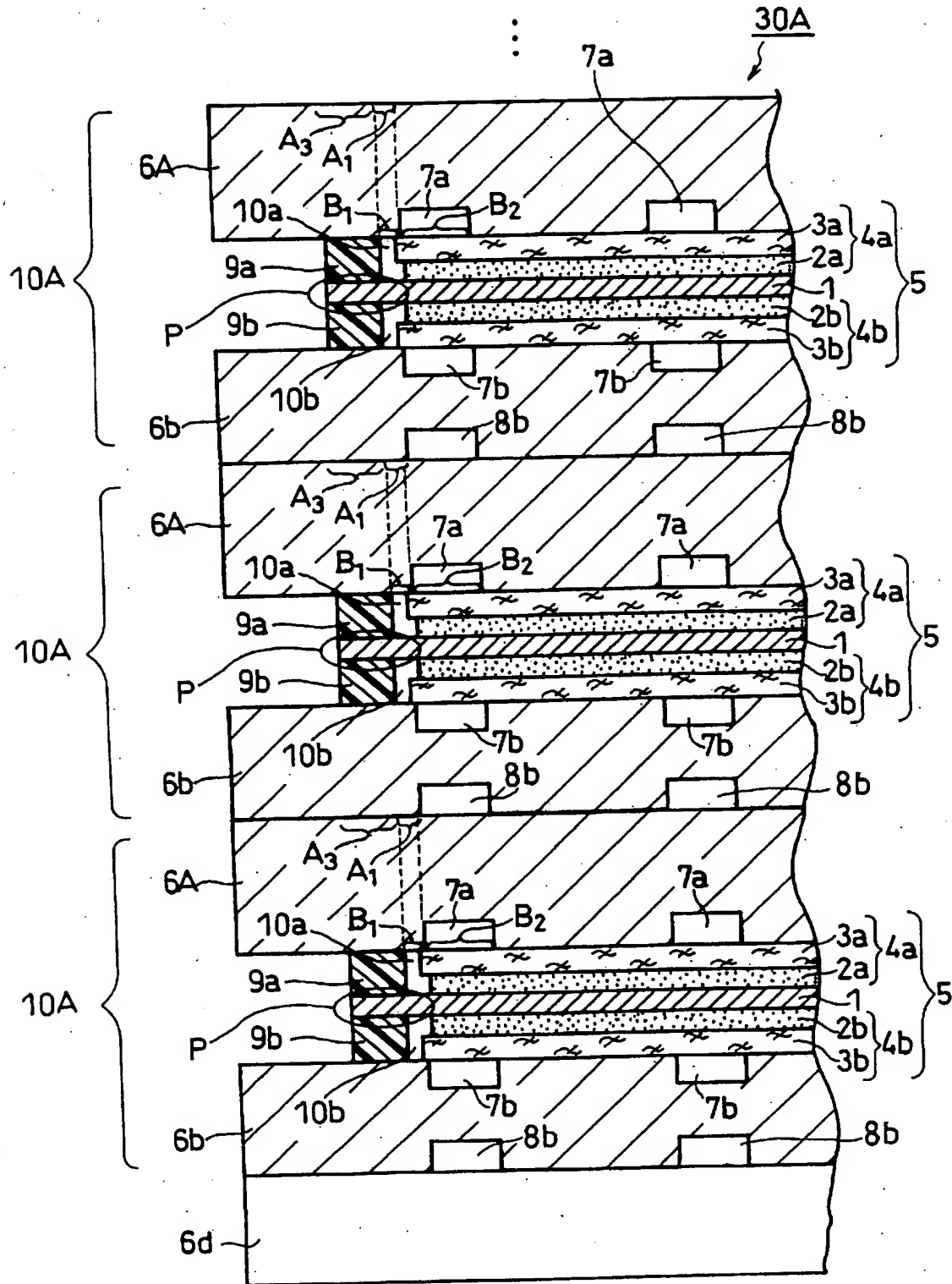
[図17]



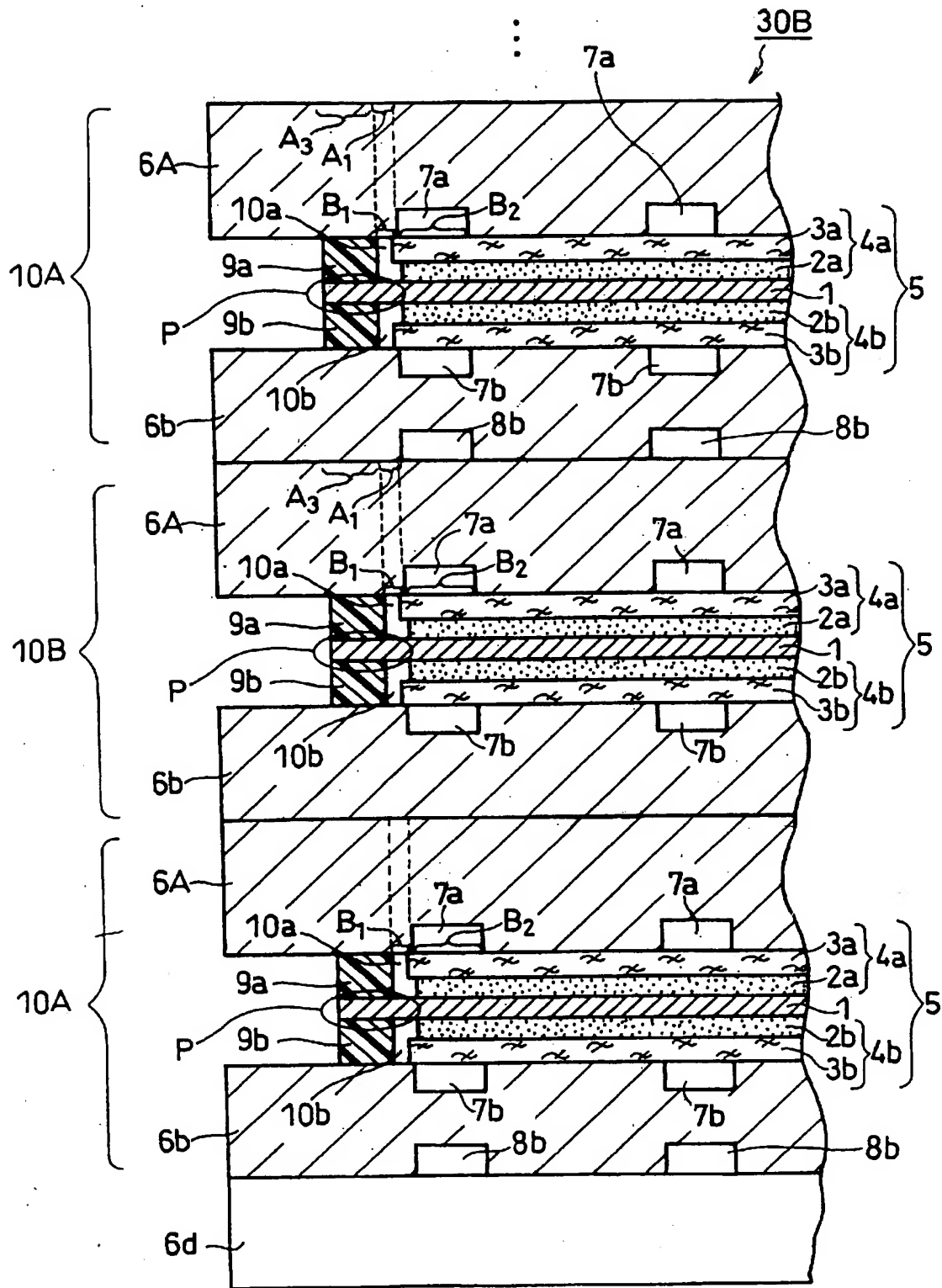
[図18]



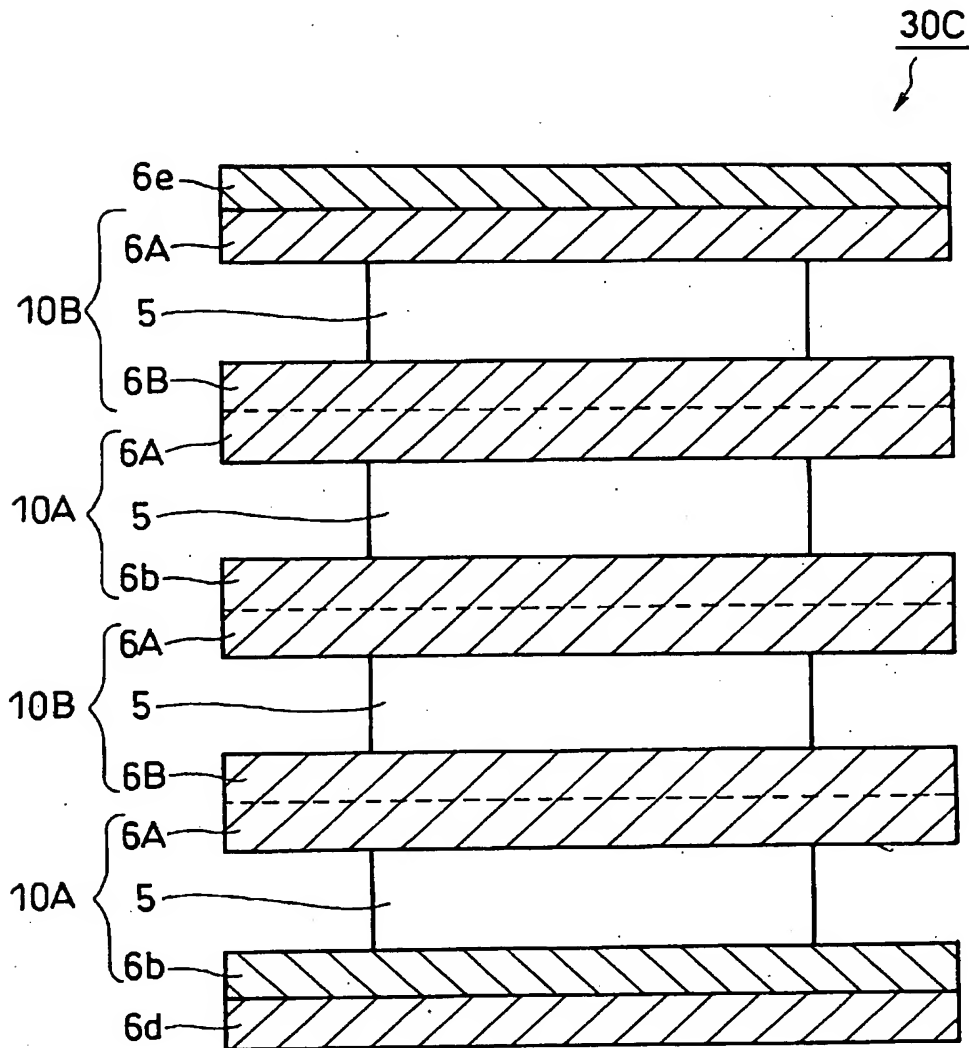
[図19]



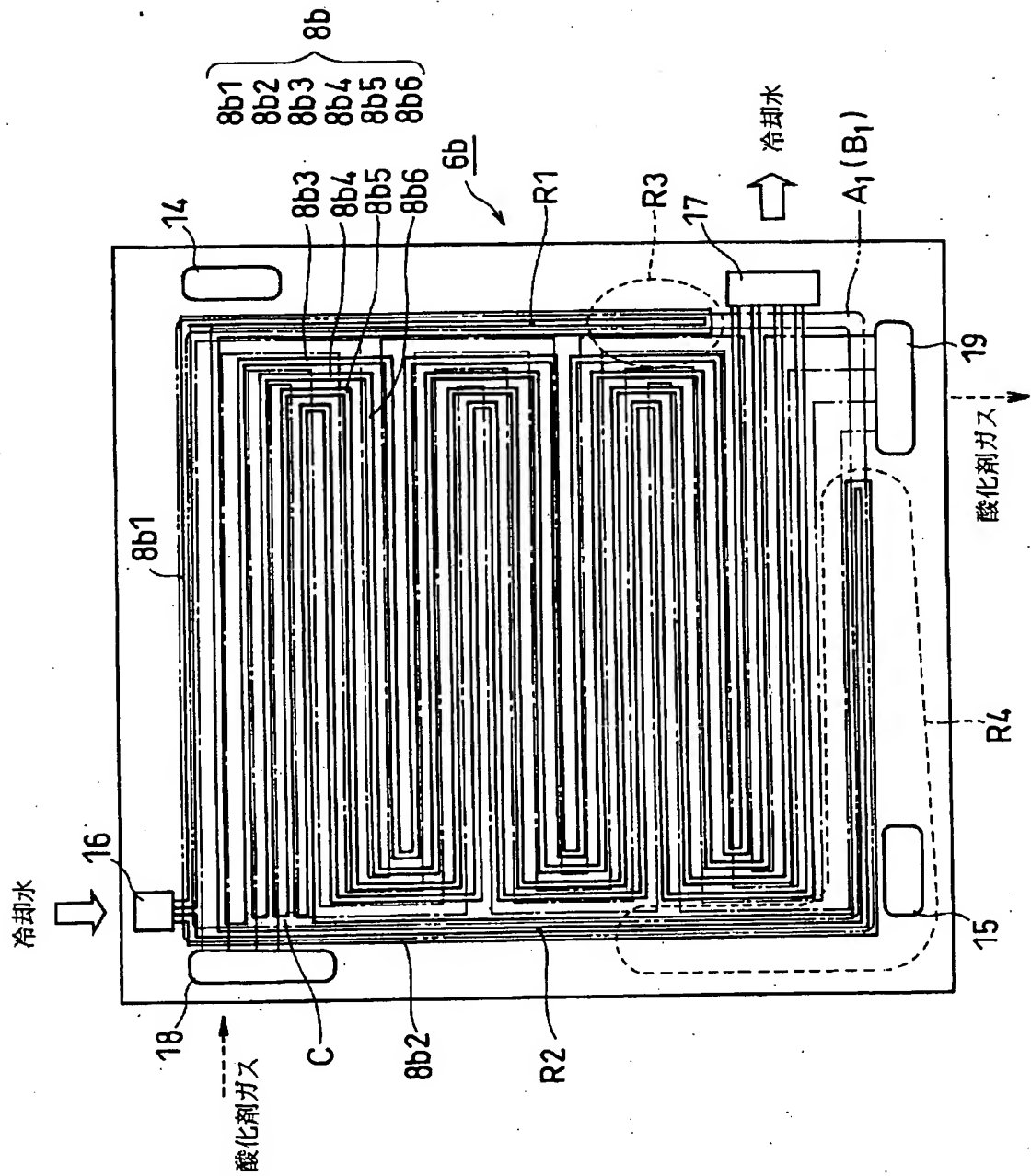
[図20]



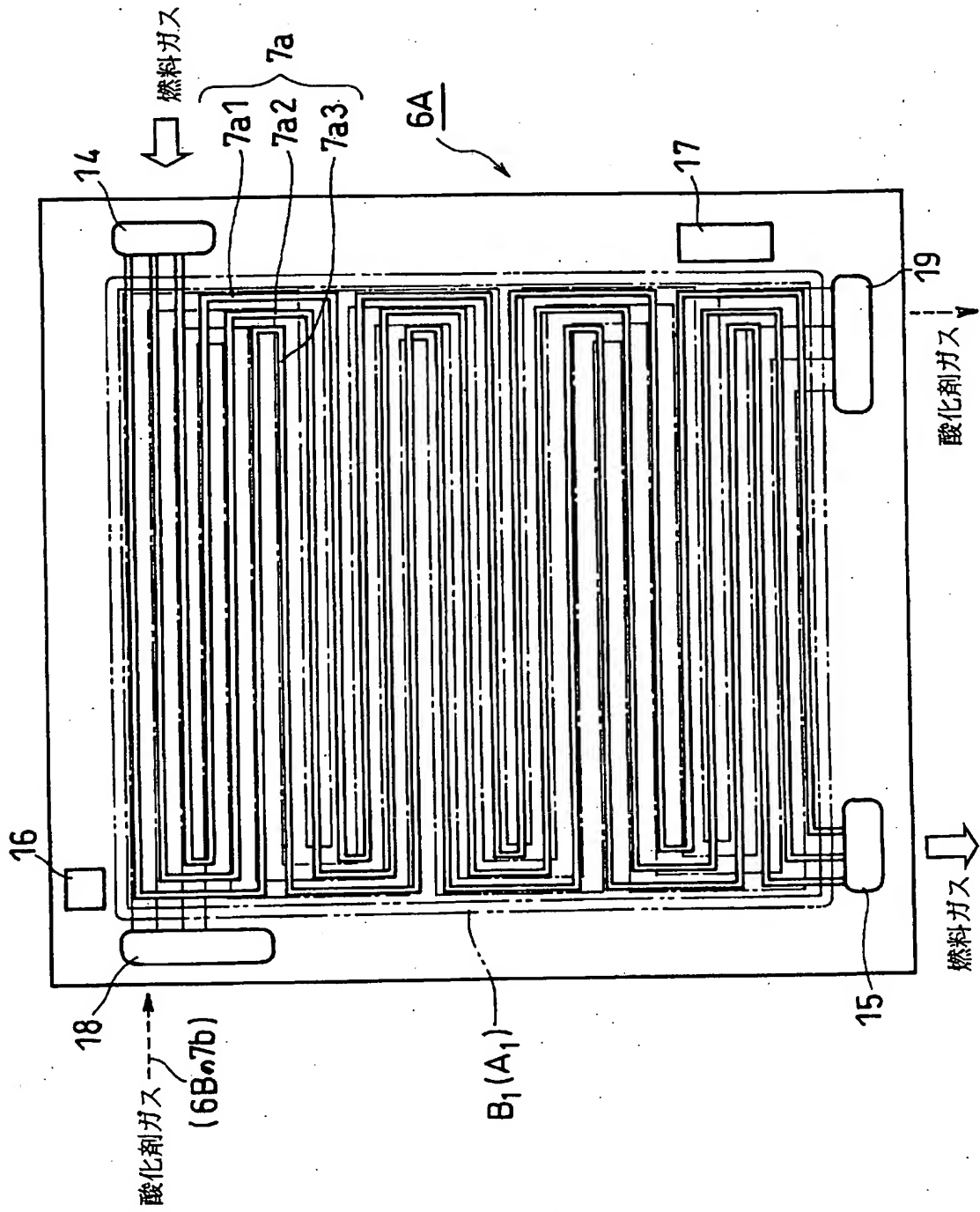
[図21]



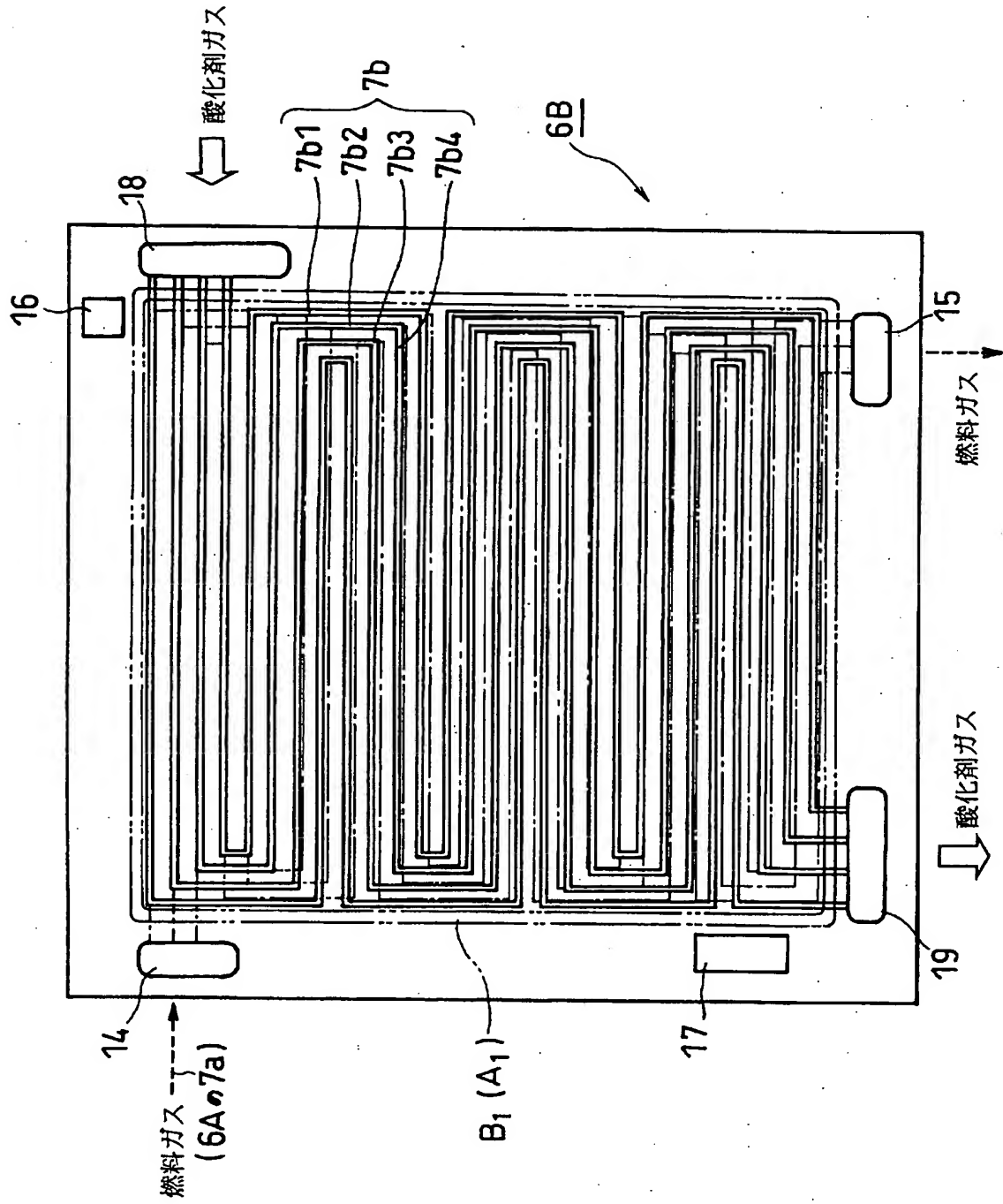
[図22]



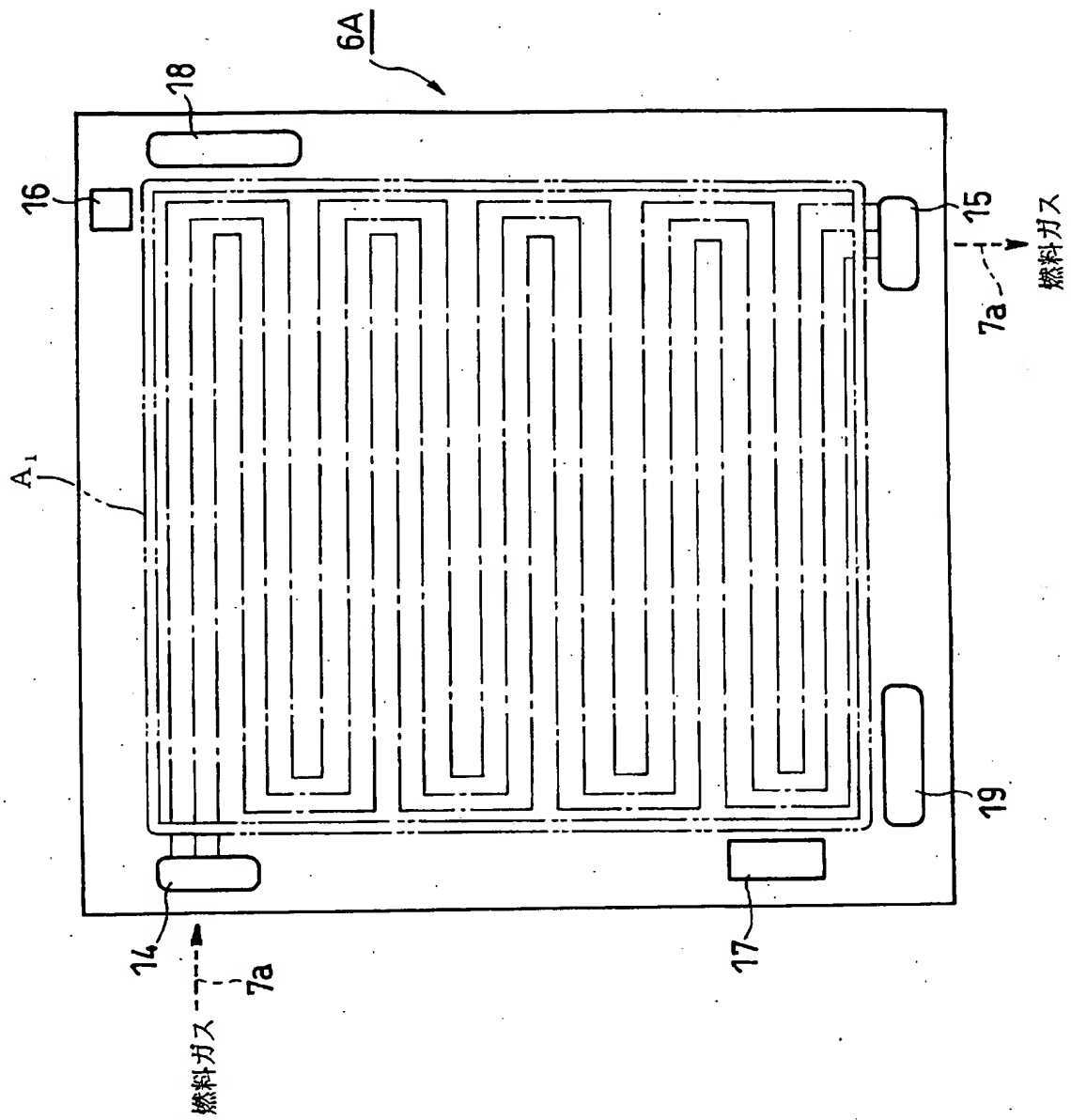
[図24]



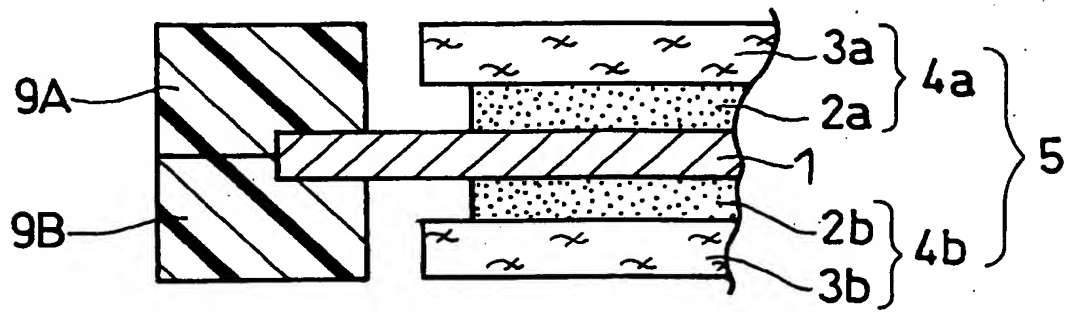
[図25]



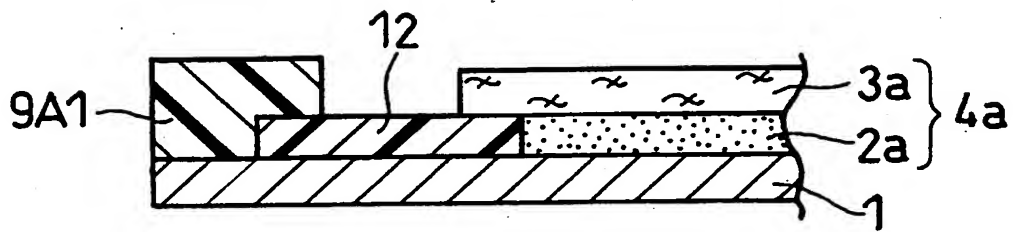
[図26]



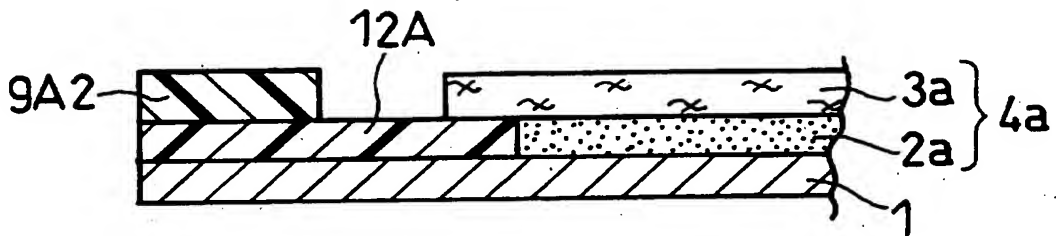
[図28]



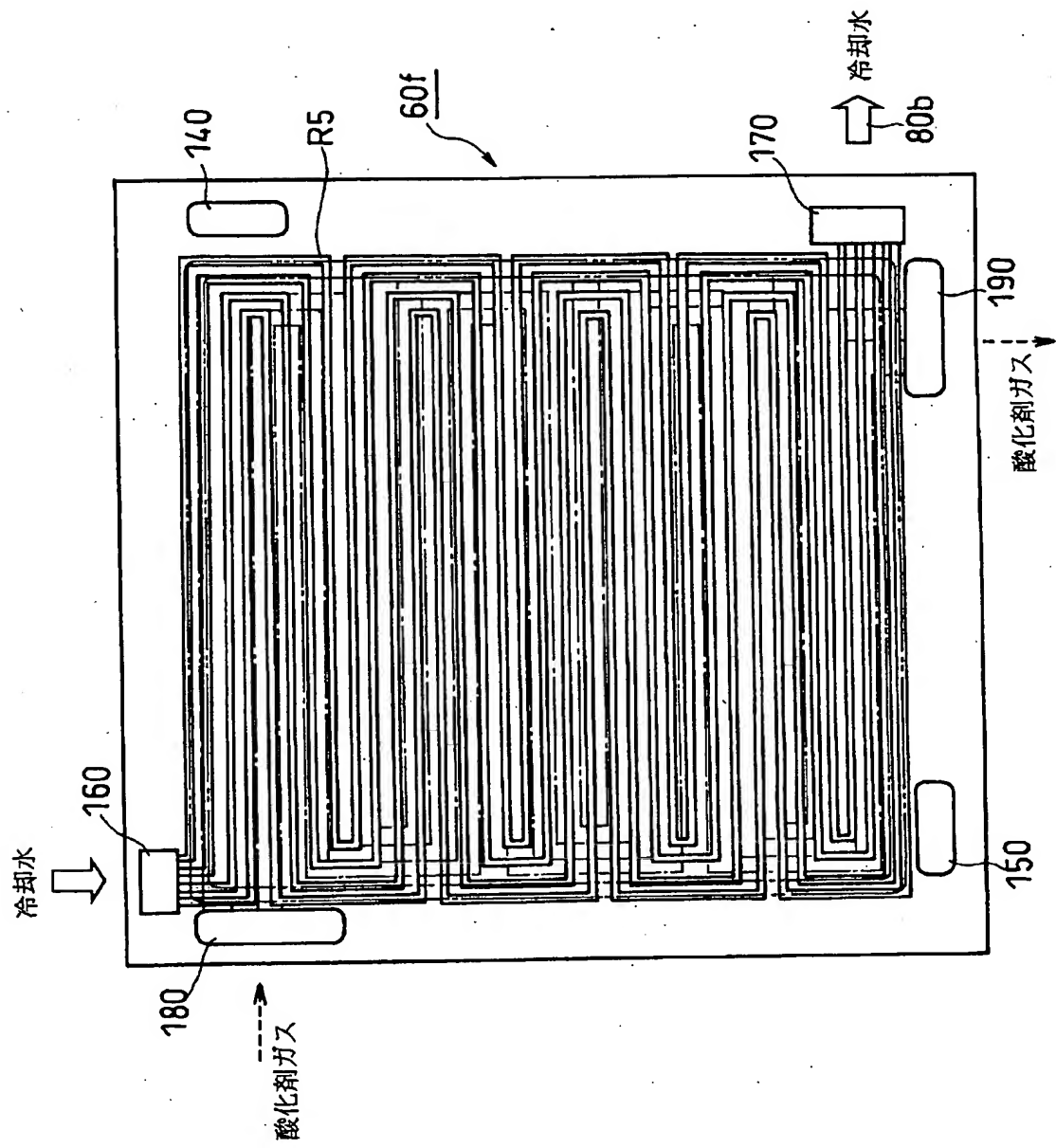
[図29]



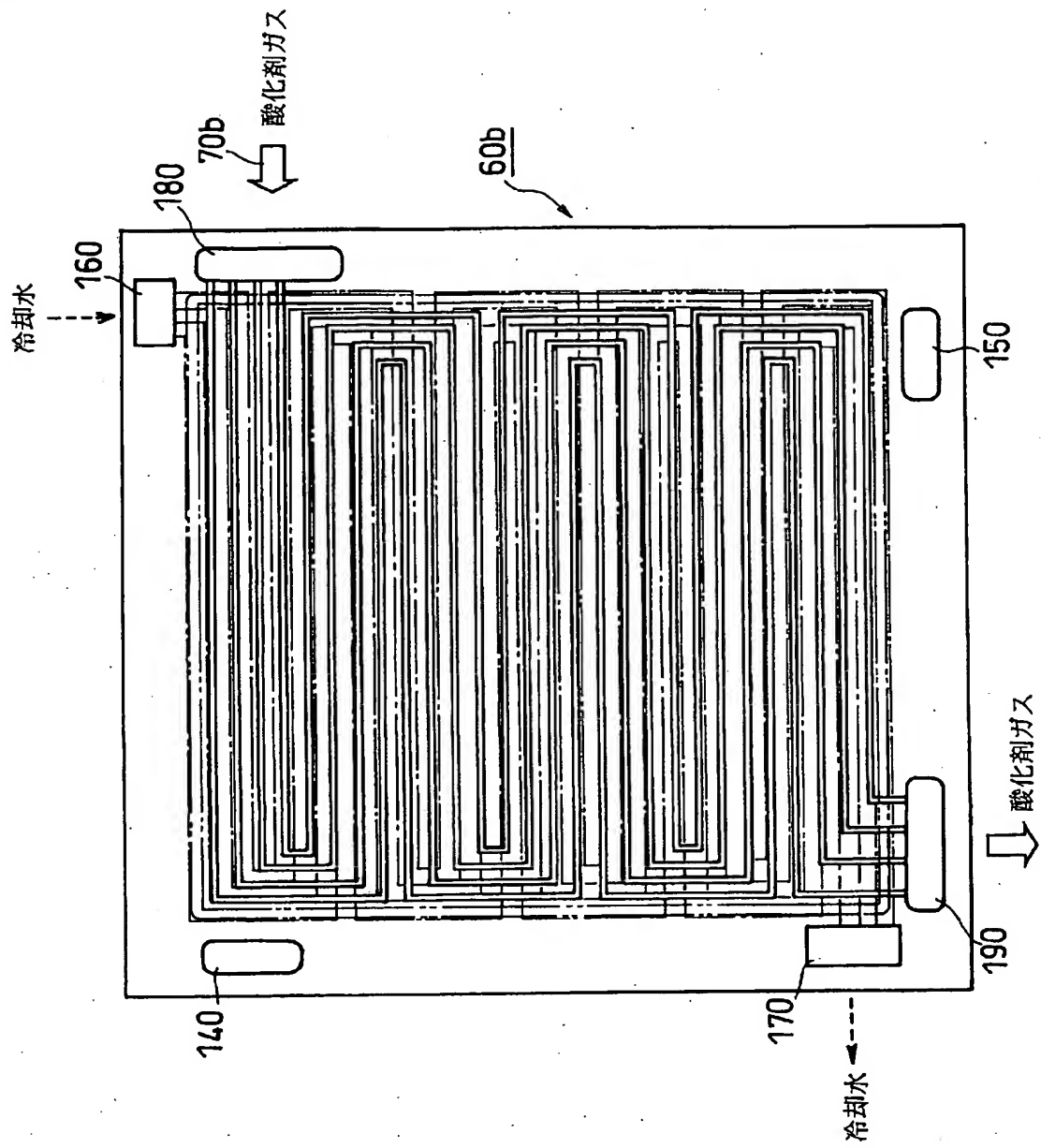
[図30]



[図31]



[図32]



[図33]

